ANALES

DE LA

SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

DIRECTOR: JOSE S. GANDOLFO

TOMO CLXII

BUENOS AIRES
AVDA. SANTA FE 1145

1956

84º ANIVERSARIO DE LA SOCIEDAD CIENTÍFICA ARGENTINA

El 28 de julio se cumplió otro aniversario de la Sociedad Científica que fué celebrado con un acto académico que tuvo lugar en su sala de actos Florentino Ameghino, en ocasión de la reanudación de sus actividades anuales, una vez recuperado el pleno uso y goce de sus derechos, como lo recordó el Vicepresidente de la Sociedad Ing. Pedro Longhini abriendo el acto: « plenos de optimismo, conscientes de los deberes que importa la libertad y seguros de que cumpliendo con tesón los fines que persigue esta casa, contribuiremos a que el país retome la senda de la legitimidad ».

« Esta fundación que celebramos, cobra en esta hora, un significado trascendente, porque la vemos inserta en el lapso en que Sarmiento, el Civilizador, el Maestro de América, ocupaba la presidencia de la República, y, también ubicada en la hora en que, indiscutiblemente, tiene lugar el nacimiento de la ciencia argentina ».

« Esta es, en realidad, la primera sociedad, que se afirma por el empeño de sus fundadores, en que los argentinos se reúen para cultivar la ciencia que, en su impulso originario, se orienta a adentrarse en los secretos de la naturaleza del suelo nativo, a aplicar los conocimientos científicos y técnicos que nos va legando la vieja Europa, en el logro del mejor aprovechamiento de nuestras fuentes de riqueza; todo ello, para mejorar la vida material y espiritual de los que habitan esta tierra generosa ».

« Se van reuniendo así, en esta Sociedad, ese grupo selecto que forman los que podemos llamar la primera generación de hombres de ciencia de la Argentina, que se integra con Valentín Balbín, Guillermo White, Pedro Pico, Luis Silveyra, Pedro Pando, Félix Amoretti, Pedro N. Arata, Carlos Macwitz, Otto Krause, Floren-

tino Ameghino, Eduardo Holmberg, Juan Sarhy, Atanasio Quiroga, Julián Romero y tantos otros ».

« Realmente asombra esta generación, que llamaríamos creadora y propulsora a la vez, de compatriotas que comienzan a actuar en la vida profesional y científica entre los años 1870 y 1885; es relevante por su número, por su tesón, por la altitud científica que alcanza, por la audacia de sus concepciones, por el entusiasmo y desinterés con que actúa, y, sobre todo, por el empeño denodado que pone en su obra para enaltecer a nuestra patria ».

« Es, pues, con estas palabras de reconocimiento emocionado, que hoy rememoramos a esta generación de varones ilustres, en que el centenario del nacimiento de muchos de ellos, se ha cumplido en estos años obscuros, en que nos estaba vedado reunirnos en actos solemnes, para exaltar sus virtudes y expresar nuestra admiración, que sentíamos como un deber inexcusable ».

Recordó, posteriormente, los merecimientos de los consocios Luis Curutchet, Enrique Butty, Raúl E. Dubecq y Donato Gerardi, quienes fueron distinguidos con la medalla « Amicies Cientiae » por haber cumplido en la Sociedad Científica cuarenta años de perseverante e ininterrumpida actividad. En nombre de ellos, Donato Gerardi pronunció oportunos conceptos de agradecimiento.

El año pasado se cumplió el centenario del nacimiento de Florentino Ameghino, pero no pudo rememorarse por los motivos conocidos. El acto académico fué dedicado a continuación a dicho sabio; para ello, el doctor Fernando Márquez Miranda rindió el homenaje de la Sociedad a través de vívidas semblanzas e imágenes recordatorias de nuestro más eminente paleontólogo y antropólogo.

HOMENAJE AL Ing. OTTO KRAUSE EN EL CENTENARIO DE SU NACIMIENTO

La Sociedad Científica Argentina adhiere al homenaje que se le tributa al gran propulsor de la enseñanza técnica en nuestro país, anticipándose con nítida visión a su actual desarrollo industrial.

El Ing. Krause fué un trabajador tesonero e infatigable; su obra docente como su actividad profesional resaltan por su vastedad, siendo el fruto fecundo de su talento y de su abnegada dedicación.

El Vicepresidente de la Sociedad en reunión de la Junta Directiva dijo, entre otros elogiosos conceptos:

Si el nombre de Otto Krause ha quedado vinculado a la solución de grandes problemas de ingeniería de nuestra Patria, y en especial, a la construcción de nuestra red ferroviaria, es en el campo de nuestra enseñanza técnica donde su nombre no será jamás olvidado; porque si Krause ganó prestigio docente como profesor titular, consejero académico y decano de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Buenos Aires, ese prestigio quedó enaltecido en forma sin par, con su actuación como organizador de la escuela que lleva tan justificadamente su nombre, la primera en su género en el país, y modelo por la calidad de enseñanza que en ella se impartió, que, por fortuna, pudo mantenerse sin alterarse por más de veinte años después de que el Ing. Krause se retirara en el año 1911, para acogerse a la jubilación.

Nuestro consocio D. Enrique Chanourdie, en su condición de Presidente de la Comisión de Homenaje, recordó en partes de su discurso:

Guiado por el sabio principio de que es siempre orientador para explicar los hechos y hazañas de un biografiado el principiar por averiguar su origen formativo, he de recordar una insuperable información procedente de la mejor de las fuentes, respecto

del hogar paterno de nuestro homenajeado. Refiérome a un relato divulgado nada menos que por don Domingo Faustino Sarmiento, recordando que en un viaje hecho a los pagos de Chivilcoy el año 1857, al practicar un recorrido por los alrededores del pueblo, fué sorprendido por los melódicos arpegios de un piano, cuya existencia en aquellas humildes chacras le sorprendieron a tal punto de querer conocer a quienes habitaban el rancho que denotaba ser un oasis de cultura en aquel desierto pampeano. En él vivía un colono llamado Augusto Krause de origen sajón, exilado voluntario que se había establecido allí pocos años antes, y uno de cuyos hijos, de un año de edad, llamábase Otto. En recuerdo de esta inesperada cuanto honrosa visita dos de los hijos que nacieron después llevaron, como segundos nombres los de Domingo y Faustino, respectivamente. Y, lo que merece ser recordado muy particularmente, es que los cuatro hijos que nacieron en aquel privilegiado hogar fueron, con el tiempo, otros tantos ingenieros civiles argentinos que honraron a sus progenitores, a su profesión y a su patria.

Le conocí en esta etapa de su vida, cuando sólo tenía él poco más de treinta años y ponía ya su « primera pica en Flandes » o, dicho menos simbólicamente, en circunstancias en que ganaba los primeros de los muchos lauros que cosechara después. Era en agosto de 1887. Se inauguraban los Talleres de Tolosa, obra cuya construcción había él proyectado y dirigido. Tenía razón para estar ufano de su obra, porque la crítica técnica la consideró digna de todo elogio. Lo cierto es que el ingeniero Krause había adquirido una maestría notable en el ramo de la mecánica en los varios años que estuvo al frente de los talleres del Ferrocarril Oeste, en el Once, mientras desempeñaba esa función anexa a la de subjefe de material y tracción.

Los conocimientos adquiridos en esta primera brillante etapa de su actuación profesional, agregados a otras condiciones que le eran peculiares y lo destacaban como ponderado dirigente entre los técnicos de su generación, le valieron el ser llamado, algunos años después, al desempeño de un cargo de la mayor responsabilidad e importancia, en circunstancias críticas de nuestras relaciones internacionales, las de Director del Arsenal de Guerra. La abnegada consagración y la competencia con que el ingeniero Krau-

se colaboró entonces a la preparación de la defensa nacional, le merecieron el respeto y la consideración de sus conciudadanos.

Considero que este ponderable desempeño al frente del Arsenal de Guerra, en las difíciles circunstancias en que debió hacerlo, constituye su realización descollante entre cuantas realizó durante una de las etapas de su vida ,la que he dividido en tres, citando al referirme a cada una, tan sólo la obra que, según mis recuerdos, es más digna de ser recordada, ya que sería imposible, en esta emergencia, mentarlas a todas.

Pasando, pues, a la tercera etapa de su actuación, he de referirme a su vocación didáctica, en la que se distinguió en forma tal vez más eficaz aún que en las anteriores, a juzgar por las proyecciones de los beneficios legados con sus Institutos Industriales, debidamente apreciados por la generalidad y que le aseguraron el agradecimiento de la presente y ulteriores generaciones. Iniciado, en la adolescencia, como maestro de primeras letras, Krause fué, en efecto, cultor de la enseñanza en todos sus grados hasta, inclusive, la universitaria, aunque su versación en la práctica de los talleres y su trato con el más variado personal técnico, por una parte, y su previsión del futuro porvenir industrial del país, por otra, le hicieron dedicar, de preferencia, sus afanes a subsanar la falta de medios educativos adecuados a tan apremiantes exigencias. De esos afanes surgió la « Primera Escuela Industrial » fruto de su medulosa concepción, que lleva hoy su nombre como justo premio por haberla creado, dirigido y moldeado a su real saber y entender.

DINAMICA DE LOS SISTEMAS MATERIALES A MASA VARIABLE

POR EL ING. CIVIL

FENIX R. MARSICANO

Resumen. — Se plantea la ecuación vectorial del movimiento del punto material a masa variable; luego se generalizan los resultados a los sistemas materiales, en el supuesto que la masa de cada punto constitutivo, sólo dependa del tiempo.

INTRODUCCION

Todos los autores que se han consultado sobre el tema (1) (2), instituyen la dinámica de los sistemas a partir de las ecuaciones universales, pero no se sabe de ninguno que haya utilizado el principio de los trabajos virtuales para llegar a la ecuación XIII de nuestra nota. Esta ecuación es válida para los sistemas materiales holónomos (*) y también para los sistemas continuos —rígidos o no— con sólo sustituir para esto último, el signo de sumatoria por el de integral y recordar las relaciones que existen entre las componentes de la cantidad de movimiento y del momento de la cantidad de movimiento con las derivadas parciales de la función energía cinética. Por otra parte la ecuación fundamental IV fué expuesta por T. Levi Civita (3) y comentada por E. Fermi (4), E. Almansi (5) y por el mismo Levi Civita (6), mientras que la extensión de la tercera ecuación universal de la dinámica, al punto material de masa variable fué hecha recientemente por G. Carini (7) con el oportuno auxilio del teorema de Carnot.

1. DINAMICA DEL PUNTO MATERIAL

Se supone tener un punto R de masa variable y sea dm la diferencial de la masa que pierde el punto R en el lapso dt; sea $\boldsymbol{V}$

(*) Si el sistema tiene vínculos anholónomos basta tener en cuenta las reacciones de tal tipo, mediante oportunos multiplicadores de Lagrange.

la velocidad de R y $\boldsymbol{F}$ el vector resultante de todas las fuerzas (activas y reactivas) que actúan sobre él.

Sea $\boldsymbol{V}_s$ la velocidad absoluta con la cual el elemento de masa dm abandona el punto R.

La variación de la cantidad de movimiento del sistema, está dada por la variación de la cantidad de movimiento de la masa m y por la variación de la cantidad de movimiento de la masa dm o sea:

$$d\,\boldsymbol{Q} = md\,\boldsymbol{V} + |\,dm\,|\,(\boldsymbol{V}_s - \boldsymbol{V}) \qquad [I]$$

Si se tiene en cuenta que cuando el punto R pierde masa dm es negativo, la (I) queda:

$$d\,\boldsymbol{Q} = md\,\boldsymbol{V} + dm\,(\boldsymbol{V} - \boldsymbol{V}_s) \qquad [II]$$

Relacionando la (II) con dt queda:

$$\frac{d\,\boldsymbol{Q}}{dt} = m\,\boldsymbol{A} + \frac{dm}{dt}\,(\boldsymbol{V} - \boldsymbol{V}_s) \qquad [III]$$

donde $\boldsymbol{A}$ es el vector aceleración del punto R.

Se recuerda ahora la primera ecuación universal de la dinámica

$$\boldsymbol{F} = \frac{d\,\boldsymbol{Q}}{dt}$$

llegando a la ecuación definitiva del movimiento del punto material que pierde masa:

$$\boldsymbol{F} + \frac{dm}{dt}\,(\boldsymbol{V}_s - \boldsymbol{V}) = m\,\boldsymbol{A} \qquad [IV]$$

que dice: A la resultante $\boldsymbol{F}$ de las fuerzas que obran sobre un punto de masa variable, hay que sumar la fuerza $(\boldsymbol{V}_s - \boldsymbol{V})\,\frac{dm}{dt}$ de reacción provocada por la salida de la masa dm y en esa forma la ecuación del movimiento es análoga a la del punto material de masa invariable. Para el punto material que aumenta su masa, rige la misma fórmula (IV) sólo que ahora $\boldsymbol{V}_s$ es la velocidad con la cual el elemento de masa dm se incorpora al punto R.

Ejemplo. — Un punto R de masa $m_0 - \alpha t$, donde m_0 y α son constantes, se mueve sobre una recta; sobre él actúa una resisten-

cia viscosa del tipo $-a\,\boldsymbol{V}$; $a =$ constante; además la masa que abandonó el punto R lo hace con velocidad $\boldsymbol{V}_s = -\boldsymbol{V}$.

Se toma sobre la recta un origen fijo O y un versor $\overline{\boldsymbol{i}}$ y se llama x a la elongación de R, se tiene:

Velocidad de R:

$$\boldsymbol{V} = \dot{\chi}\,\overline{\boldsymbol{i}}$$

Velocidad de salida:

$$\boldsymbol{V}_s = -\dot{\chi}\,\overline{\boldsymbol{i}}$$

Fuerza actuante:

$$\boldsymbol{F} = -a\,\dot{\chi}\,\overline{\boldsymbol{i}}$$

Aceleración:

$$\boldsymbol{A} = \ddot{\chi}\,\overline{\boldsymbol{i}}$$

Variación de la masa con el tiempo:

$$\frac{dm}{dt} = -\alpha$$

Luego la (IV) queda:

$$(m_0 - \alpha t)\,\ddot{\chi} - 2\,\dot{\chi}\,\alpha + a\,\dot{\chi} = 0 \qquad [V]$$

Dividiendo por $m\dot{x}$ queda:

$$\frac{\ddot{\chi}}{\dot{\chi}} - \frac{2\,\alpha}{m_0 - \alpha t} + \frac{a}{m_0 - \alpha t} = 0 \qquad [VI]$$

O bien:

$$\frac{d}{dt}\lg\dot{\chi} + \frac{d}{dt}\lg(m_0 - \alpha t)^2 - \frac{d}{dt}\lg(m_0 - \alpha t)^{\frac{a}{\alpha}} = 0$$

e integrando con respecto al tiempo:

$$\lg\dot{\chi} + \lg(m_0 - \alpha t)^2 - \lg(m_0 - \alpha t)^{\frac{a}{\alpha}} = \lg C$$

$C =$ constante

O bien:

$$\dot{\chi}\,(m_0 - \alpha t)^{2 - \frac{a}{\alpha}} = C \qquad [VII]$$

La (VII) nos da la ley de variación de la velocidad $\dot{\chi}$ mientras que el camino recorrido se obtiene con otra integración:

$$\chi = \int \frac{cdt}{(m_0 - \alpha t)^{2-\frac{a}{\alpha}}} + B \qquad [VIII]$$

B = constante

Para el particular valor $\frac{a}{\alpha} = 2$ la velocidad se mantiene constante e igual al valor inicial c según se ve claramente de la (VII).

Para valores de $\frac{a}{\alpha} > 2$ (Fuerte resistencia del medio) la velocidad disminuye; así para $\frac{a}{\alpha} = 3$ la disminución es lineal, para $\frac{a}{\alpha} = 4$ es cuadrática, etc. Para $\frac{a}{\alpha} < 2$ la velocidad crece: Así por ejemplo si $\frac{a}{\alpha} = 1$ el crecimiento de $\dot{x}$ es hiperbólico.

Debe suponerse que la disminución de masa se efectúa hasta un valor particular de t; digamos t^* tal que $m_0 - \alpha t^* > 0$ de lo contrario la masa se anularía y no sería lícito dividir por ella como se ha hecho en (VI).

2. DINAMICA DE LOS SISTEMAS

La ecuación (IV) puede ponerse bajo la forma:

$$\boldsymbol{F} + \frac{dm}{dt} (\boldsymbol{V}_s - \boldsymbol{V}) - m \boldsymbol{A} = 0 \qquad [IX]$$

que permite extenderla a los sistemas materiales y combinarla con el principio de los trabajos virtuales para obtener finalmente la ecuación simbólica de la dinámica:

$$\sum_{1}^{N}{}_i \left[\boldsymbol{F}_i - m_i \boldsymbol{A}_i + \frac{dm_i}{dt} (\boldsymbol{V}_{si} - \boldsymbol{V}_i) \right] \times \delta \boldsymbol{R}_i = 0 \qquad [X]$$

donde $\boldsymbol{R}_i$ es el punto genérico del sistema, m_i su masa; $\boldsymbol{V}_i$ su velocidad; $\boldsymbol{V}_{is}$ la velocidad de salida de la masa correspondiente dm_i; N el número total de puntos del sistema y $\boldsymbol{F}_i$ la resultante de las fuerzas activas que obran sobre $\boldsymbol{R}_i$.

Si el sistema es holónomo se tiene:

$$\delta R_i = \frac{\partial R_i}{\partial q_j} \, \delta q_j \qquad [XI]$$

$$j = 1;\ 2;\ \ldots\ n$$

donde n es el grado de libertad y q_j los parámetros de configuración.

De acuerdo a la (XI) la (X) queda:

$$\sum_1^N {}_i \left[\boldsymbol{F}_i - m_i \boldsymbol{A}_i + \frac{dm_i}{dt} (\boldsymbol{V}_{si} - \boldsymbol{V}_i) \right] \times \frac{\partial R_i}{\partial q_i} = 0 \qquad [XII]$$

Introduciendo la función Energía Cinética $e = \frac{1}{2} \sum_1^N {}_i \, m_i \, \boldsymbol{V}_i^2$ y suponiendo que las m_i sólo dependan del tiempo $m_i = m_i(t)$ se tiene:

$$\frac{\partial e}{\partial q_j} = \frac{1}{2} \sum_1^N {}_i \, 2 \, m_i \, \boldsymbol{V}_i \times \frac{\partial \boldsymbol{V}_i}{\partial q_j}$$

$$\frac{\partial e}{\partial \dot{q}_j} = \sum_1^N {}_i \, m_i \, \boldsymbol{V}_i \times \frac{\partial \boldsymbol{V}_i}{\partial \dot{q}_j}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial e}{\partial \dot{q}_j} = \sum_1^N {}_i \left[m_i \boldsymbol{A}_i \times \frac{\partial \boldsymbol{V}_i}{\partial \dot{q}_j} + m_i \, \boldsymbol{V}_i \times \frac{d}{dt} \frac{\partial \boldsymbol{V}_i}{\partial \dot{q}_j} + \right.$$

$$\left. + \frac{dm_i}{dt} . \boldsymbol{V}_i \times \frac{\partial \boldsymbol{V}_i}{\partial \dot{q}_j} \right]$$

y de (XI):

$$\frac{\partial \boldsymbol{V}_i}{\partial \dot{q}_j} = \frac{\partial R_i}{\partial q_j} \qquad \frac{d}{dt} \frac{\partial \boldsymbol{V}_i}{\partial \dot{q}_j} = \frac{\partial \boldsymbol{V}_i}{\partial q}$$

Con estas nuevas expresiones, la (XII) se transforma en:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial e}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial e}{\partial q_j} = \sum_1^N {}_i \left[\boldsymbol{F}_i + \frac{dm_i}{dt} \boldsymbol{V}_{si} \right] \times \frac{\partial R_i}{\partial q_j} \qquad [XIII]$$

La (XIII) es la ecuación definitiva que permite calcular el movimiento de nuestro sistema a masa variable, en base a la función Energía Cinética. Se la aplica al mismo ejemplo anterior.

Sea $\overline{R - 0} = x \, \overline{\boldsymbol{i}}$ el vector posición del punto R.

Luego:

$$V = \dot{\chi}\,\bar{i} \qquad m = m_0 - \alpha t \qquad \frac{\partial R}{\partial \chi} = i$$

$$e = \frac{1}{2}(m_0 - \alpha t)\,\dot{\chi}^2 \qquad \frac{\partial e}{\partial \chi} = 0$$

$$\frac{\partial e}{\partial \dot{\chi}} = (m_0 - \alpha t)\,\dot{\chi} \qquad \frac{d}{dt}\frac{\partial e}{\partial \dot{\chi}} = \ddot{\chi}\,(m_0 - \alpha t) - \alpha \dot{\chi}$$

$$\frac{dm}{dt} = -\alpha \qquad V_{si} = -V = -\dot{\chi}\,\bar{i}$$

$$\frac{dm}{dt} V_s \times \frac{\partial R}{\partial \chi} = \alpha\,\dot{\chi}$$

$$F = -a\,\dot{\chi}\,\bar{i} \qquad F \times \frac{\partial R}{\partial \chi} = -a\,\dot{\chi}$$

Con lo que la (XIII) queda:

$$\ddot{\chi}\,(m_0 - \alpha t) - \alpha\,\dot{\chi} = -a\,\dot{\chi} + \alpha\,\dot{\chi}$$

De donde:

$$\ddot{\chi}\,(m_0 - \alpha t) - 2\,\alpha\,\dot{\chi} + a\,\dot{\chi} = 0$$

que coincide con la (V) del 1.

BIBLIOGRAFÍA

(1) ROSSER, J. B.; R. R. NEWTON y G. L. GROSS. — « Mathematical Theory of Rocket flight ». Mc. Graw-Hill. New York, 1947.
(2) MANACORDA, T. — « Il motto di un corpo di masa viariabili ». *Riv. di Matematica.* Univ. di Parma, vol. 3, fasc. 4-5. Año 1952, p. 361.
(3) « Sul moto di un corpo di masa variabili ». *Atti R. Acc. dei Lincei,* VI-8, pág. 329, 333, 621, 622. Año 1929.
(4) « Sul moto di un corpo di masa viariabili ». *Atti R. Acc. dei Lincei,* VI-9, pág. 984. Año 1929.
(5) « Sul moto di un corpo di masa variabili ». *Atti R. Acc. dei Lincei,* VI-9, pág. 1055. Año 1929.
(6) « Ancora sul moto di un corpo di masa variabili ». *Atti R. Acc. dei Lincei,* VI-11, pág. 626. Año 1930.
(7) « Sull'equazione dell'energia nella dinamica del punto a massa variabili ». *Bolletino della U. M. I.* Junio 1955, Serie III, año X, nº 2, pág. 224.

SECCIÓN CONFERENCIAS

ASPECTOS OCEANOGRAFICOS DE LA ANTARTIDA ARGENTINA

POR EL CAPITAN DE FRAGATA

LUIS R. A. CAPURRO

En el año 1916 el más tarde almirante Storni, en dos notables conferencias leídas en el salón de actos públicos de « La Prensa », fijó claramente la importancia del mar en la grandeza de la República Argentina, al expresar « que el mar encierra para la Nación argentina los más vitales problemas y que será el vehículo y el sostén de su fortuna y de su gloria ». En un trabajo exhaustivo el almirante Storni fijó en forma clara y rotunda los Intereses Argentinos en el Mar y expuso a grandes rasgos la Política Naval, o tal vez mejor dicho, la Política Marítima que debía adoptarse para desarrollar esos intereses tan vitales para la grandeza de nuestro país.

La Marina de Guerra, como fiel exponente de la conciencia marítima de esta joven Nación, hizo suya las inquietudes que aquel prestigioso Jefe reflejara con tanta claridad en sus escritos, y prosiguió e intensificó sus esfuerzos para conocer ese sujeto denominado « Mar Argentino », tan importante a la vida misma de la Nación.

De ahí que en forma abnegada y silenciosa, marinos y científicos civiles embarcados en nuestras naves emprendieron la primera tarea clásica de toda ciencia natural: « la de describir ese ambiente marino en todas sus manifestaciones físicas y biológicas ».

Numerosas comisiones hidrográficas a lo largo de nuestro litoral marítimo dieron como resultado las cartas náuticas y derroteros que conjuntamente con trabajos sistemáticos de carácter biológico y geológico configuraban el ambiente superficial de las aguas que bañan nuestras costas, el suelo sumergido y los organismos vivos que en ellos medran. Quedó así superada la primera etapa del

conocimiento de ese Mar Argentino; se llegó a poseer una idea más o menos cabal de las características fundamentales de las masas de agua superficiales que lo componen, del relieve submarino y de la vida que ellos encierran.

Se pretendió luego, a título de lógico progreso, precisar la interrelación existente entre ese medio físico inanimado y el medio animado que en él habita, así como las proyecciones que el ambiente marítimo tiene sobre el continente que nosotros habitamos. Es por este incentivo que en los últimos años la Marina de Guerra, con la colaboración de otras instituciones del país, comenzó a desarrollar una serie de campañas oceanográficas en el Mar Argentino, tendientes a aclarar los aspectos mencionados al comienzo de este párrafo. Este tipo de campaña difería fundamentalmente de la clásica campaña hidrográfica, diferencia lógica, si se tiene en cuenta que los objetivos perseguidos en ambas eran completamente diferentes. Se puede adelantar que los primeros resultados de los datos obtenidos en esas campañas muestran en forma concluyente la necesidad de conocer el régimen hidráulico del gran Mar Austral, para poder explicar la mayor parte de los fenómenos que tienen lugar en el Mar Argentino.

Este incentivo científico, conjuntamente con el reconocimiento de los intereses nacionales en el Continente Antártico, ha aumentado el campo de acción de las actividades oceanográficas; de ahí que desde varios años atrás se repitan en forma sistemática campañas oceanográficas en esa zona austral, cuyos resultados, sumados a los obtenidos por otros países que efectuaron estudios similares en esa región, son los elementos de juicio básico para la presente exposición.

Describir los aspectos oceanográficos de cualquier región del globo involucra, por la propia definición de oceanografía, aplicar al medio marino limitado por esa región los conocimientos de una serie de ciencias básicas. La magnitud de esta tarea supera el alcance que puede asignarse a la presente conferencia, razón por la cual sólo se expondrán con cierto detalle los fenómenos que ocurren en la región austral dentro del campo de la oceanografía física y, en una forma muy general, los aspectos químicos, de manera tal que el auditorio pueda obtener una visión panorámica

más o menos clara de la oceanografía antártica en su conjunto y de la del sector Antártico Argentino en particular.

Planteado así el problema, el desarrollo de la presente Conferencia se concretará a contemplar ciertos aspectos de la geología submarina, características físicas de las masas de agua, su diná-

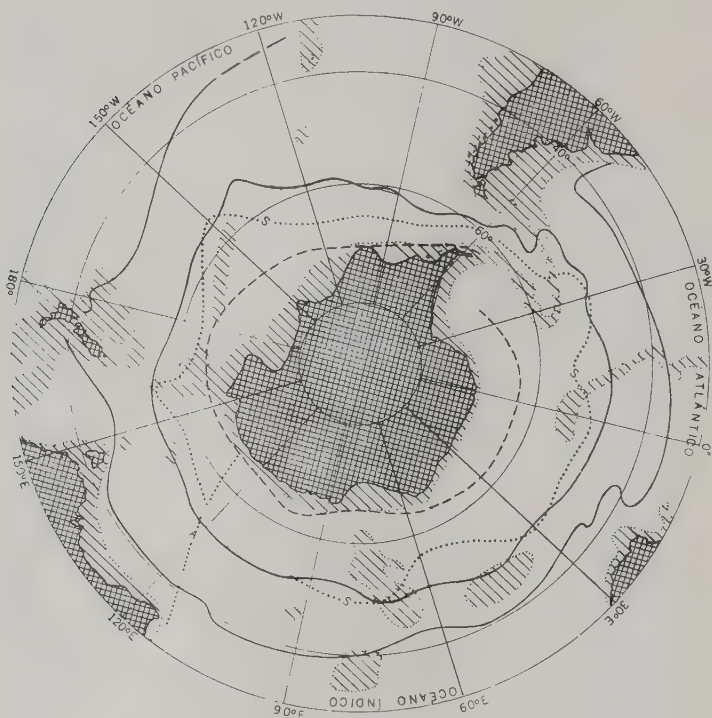


FIG. 1. — Ubicación de las Convergencias Antártica y Subtropical *A* y *S*; corresponden a las secciones representadas en las figuras 3 y 4 respectivamente. *La curva rayada* indica el límite entre los vientos del oriente y del occidente. El sombreado liviano indica profundidades menores de 3000 metros.

mica y una idea amplia sobre concentración de sales nutritivas. La biología marina de esta región no será comentada debido a ser el motivo de una próxima conferencia a ser leída en esta sala.

Antes de abocarme a la geología sumergida de la Antártida, considero conveniente destacar ciertos caracteres geográficos espe-

ciales que estimo son únicos y que luego permitirán comprender más claramente algunos fenómenos que tienen lugar en esta región.

El primero y más importante de ellos, como se puede ver en la figura 1, es la continuidad del gran Océano Austral. Sus aguas, hasta una profundidad mayor de 2000 metros, circulan libremente alrededor del Continente Antártico. Los tres océanos, Atlántico, Pacífico e Indico, se desprenden como tres grandes brazos de este Océano Austral y se hallan, por lo tanto, en libre comunicación con este último. Esta libre comunicación ejerce una influencia notable sobre la circulación de las aguas profundas en esos tres océanos.

Otra de las características fundamentales, derivada asimismo de la ausencia de continentes que interfieran la continuidad de este océano, es que la distribución de los elementos meteorológicos se asemeja bastante a la distribución teórica ideal. De ahí que en rasgos generales el viento predominante en esta región del globo hasta los 66° de latitud sur proviene del occidente, mientras que al sur de esa latitud, es decir, en las proximidades del continente, los vientos predominantes provienen del oriente. Esa circulación opuesta tiene influencia en los movimientos de las capas de agua superficiales y subsuperficiales.

Por último, la mencionada continuidad del Océano Austral permite que la mayoría de los fenómenos físicos y biológicos que se desarrollan en esta región posean carácter circumpolar, es decir, sean comunes a lo largo de todo este océano.

ALGUNOS ASPECTOS DE LA GEOLOGIA SUBMARINA DEL OCEANO AUSTRAL

La figura 2 es una proyección polar de las regiones antárticas, que muestra los accidentes topográficos más notables. Inmediatamente se aprecian características peculiares en la topografía sumergida del Océano Antártico.

Las cuencas casi aisladas, que son prominentes en el Océano Glacial Artico, no se encuentran en el Antártico, donde la mayor parte de ellas tienen libre comunicación entre sí hasta grandes profundidades. Las cuencas profundas se extienden hasta casi tocar el continente y sus pendientes son muy abruptas.

Uniendo Sud América con la Antártida se encuentra presente el Arco de las Antillas del Sur, sobre el cual emergen las islas Georgias del Sur, Sandwich del Sur, Orcadas del Sur y Shetlands del Sur.

La parte sumergida de este Arco es contínua a 4000 metros; a 3000 metros en cambio, algunos portezuelos o comunicaciones estre-

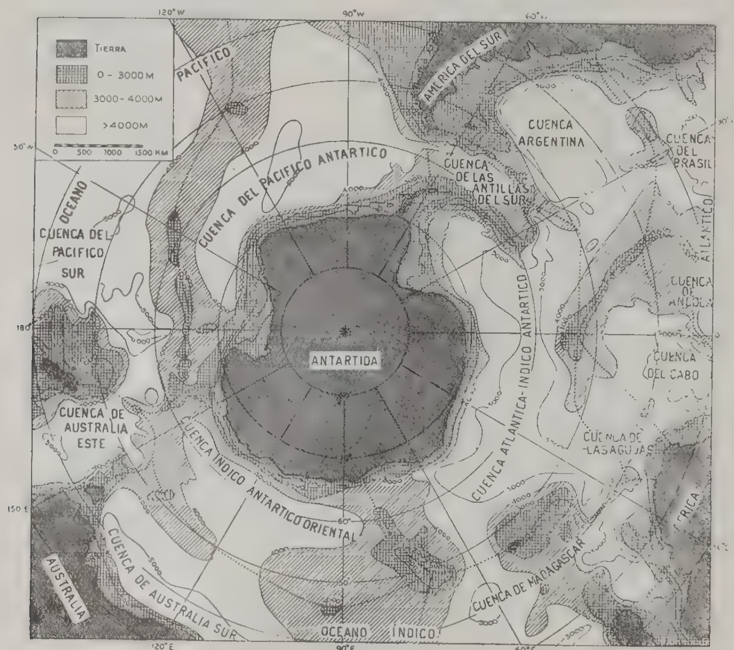


FIG. 2. — Proyección polar que muestra la topografía submarina de las regiones Antárticas. Las profundidades menores de 4000 metros están sombreadas. Las líneas punteadas muestran la ubicación de las elevaciones que separan a las distintas cuencas.

chas lo cortan permitiendo el pasaje de las aguas a través de los mismos.

El gran dorsal sumergido del Atlántico no llega hasta el Continente Antártico, ya que termina en las cercanías de la isla Bouvet. La profundidad mayor encontrada en la región Atlántica mostrada en la figura 2 aparece en la Fosa de las Sandwich del Sur, con

8206 metros, ubicada en el lado convexo del Arco de las Antillas del Sur a 80 millas al Este de las islas Sandwich del Sur.

El origen del Arco de las Antillas del Sur es discutido; en la actualidad se están realizando estudios especiales para determinar su génesis.

Otro aspecto interesante de la topografía submarina Antártica es el hecho de que la plataforma continental se encuentra, en general , a las 200 brazas de profundidad.

En cuanto a los sedimentos pelágicos que cubren las cuencas Antárticas, cabe anotar como característica fundamental, su distribución circumpolar, es decir, existe una banda que se extiende alrededor de toda la Antártida y cuyo constituyente fundamental es el cieno de diatomeas. Este tipo de sedimento está constituído por un gran porcentaje de material silicoso producido por deposiciones de las diatomeas, que es el integrante más abundante del fitoplancton de la zona Antártica. Su color es en general amarillento, y se transforma en blanco grisáceo cuando se seca. Se puede afirmar que la presencia de sedimentos pelágicos de cieno de diatomeas en tal extensión es casi exclusivo de la Antártida.

Antes de finalizar la exposición del aspecto geológico general del Océano Antártico, quiero dejar constancia de que nuestro país ha aportado últimamente datos interesantes sobre la batimetría del Mar de Weddell. Este mar, prácticamente inaccesible para buques comunes, fué atravesado en cuatro oportunidades, por el A.R.A. Rompehielos « General San Martín », el cual efectuó un registro continuado del relieve submarino con modernos sondadores ecoicos. Esta información ha sido volcada en la cartografía náutica que publica el Ministerio de Marina, pero además dará origen a una serie de publicaciones científicas especiales, tan pronto como sea complementada con datos sobre el tipo de roca o sedimento existente.

LAS MASAS DE AGUA DEL OCEANO AUSTRAL. CIRCULACION GENERAL

Antes de iniciar la descripción de las masas de agua existentes en la zona Antártica, estimo conveniente aclarar las características fundamentales que definen a una masa de agua. Así como la temperatura y el contenido de vapor identifican a una masa de aire,

la temperatura y la salinidad, es decir, la cantidad de sales en gramos contenida en un kilogramo de agua de mar, son las características fundamentales y clásicas que definen a una masa de agua. Estas variables han sido los instrumentos más utilizados en la identificación de las distintas masas de agua, desde los albores de la oceanografía física, y continúan siéndolo en la actualidad. Ello no excluye que el adelanto de la técnica de laboratorio permita en el futuro determinar algún constituyente químico en especial u otra propiedad, que haga posible identificar en forma más concreta a una masa de agua, pero se insiste en que hasta el presente la temperatura y salinidad son los datos que identifican su origen en forma bastante precisa.

Aclarados estos conceptos, y antes de pasar directamente a las aguas de la Antártida Argentina, surge la necesidad de aclarar también cuáles son las masas de aguas que constituyen el Atlántico Sur. Además, a fin de interpretar más claramente el aspecto de la circulación general oceánica en la región en estudio, encararemos primeramente la descripción de las masas de agua superficiales, para luego pasar a las profundas.

Un examen de la distribución de la temperatura y salinidad en las capas superficiales del Atlántico Sur muestra que existen cuatro tipos de agua en la superficie. Cada una de estas aguas tiene una amplitud típica en su temperatura y salinidad, como también condiciones típicas para el mantenimiento de la vida animal y vegetal. La distintas masas de agua guardan una relación muy íntima con las condiciones climáticas de las regiones en que se encuentran, y su existencia como tal obedece parcialmente a dichas condiciones. El clima Antártico en el sur da lugar a una capa superficial fría poco salina; en cambio las condiciones tropicales en la proximidades del Ecuador dan origen a una capa superficial muy caliente. Además de estos dos extremos, existen dos tipos intermedios: las aguas Subantárticas y las Subtropicales, que se ven afectadas en menor grado por las condiciones antárticas y tropicales.

La distribución geográfica de esos cuatro tipos de aguas provee un método muy conveniente y significativo, por el cual la superficie del Atlántico Sur, en el que está incluída una parte del Océano Antártico, puede ser dividido en cuatro zonas cuyo régimen

hidrológico es necesario conocer para definir las condiciones en todo el océano. Estas cuatro zonas han sido denominadas: Antártica, Subantártica, Subtropical y Tropical. Antes de analizar las aguas de la región Antártica, que es la que interesa en la presente discusión, se insiste en que las divisiones mencionadas son válidas para las aguas superficiales, no así para las aguas profundas; en estas últimas el método propuesto no tiene aplicación, por razones ligadas a las características propias de la circulación profunda de los océanos.

Las temperaturas superficiales de las aguas muestran valores muy bajos en las proximidades del Continente Antártico, valores que aumentan muy lentamente a medida que aumenta la distancia a la costa. Este aumento es muy lento y responde al que se espera por la variación en latitud, hasta llegar a una zona donde se produce un aumento de dos a tres grados centígrados en pocas millas de distancia. Esta región de rápido aumento en la temperatura de superficie se denomina « Convergencia Antártica » y ha sido encontrada alrededor de todo el continente. Avanzando luego hacia el norte de la Convergencia, la temperatura de superficie aumenta muy lentamente hasta encontrar una segunda área de aumento rápido en la temperatura, en la denominada « Convergencia Subtropical », que ha sido ubicada alrededor de toda la tierra. El área que se extiende entre el Continente y la Convergencia Antártica toma el nombre de Región Antártica; el área las dos convergencias es llamada Región Subantártica.

De acuerdo con lo expresado anteriormente, las masas de agua presentes en la Región Antártica se pueden identificar en base a sus características de temperatura y salinidad. La figura 3 muestra los valores de la temperatura y salinidad en función de la profundidad, en una sección que corta normalmente al Continente Antártico. Esta sección corre en dirección sud-sudoeste desde el Cabo Leeuwin, en Australia Occidental, hasta el borde del hielo en 63°41'S al sur de Australia. La capa superficial es de baja temperatura y baja salinidad. Debajo de esta capa se presenta una capa de transición, cuyo espesor aumenta hacia el norte, y dentro de la cual la temperatura asciende rápidamente hasta valores mayores de 2°C, mientras que la salinidad aumenta gradualmente hasta valores mayores de 34,5 ‰. Debajo de esta agua

circula el Agua Circumpolar Antártica, cuya salinidad es un poco superior a los 34.70 ‰ y su temperatura oscila entre 2° y 0°C. Agua de estas mismas características se encuentra en la zona subantártica debajo de los 2000 metros. Esto quiere decir que el

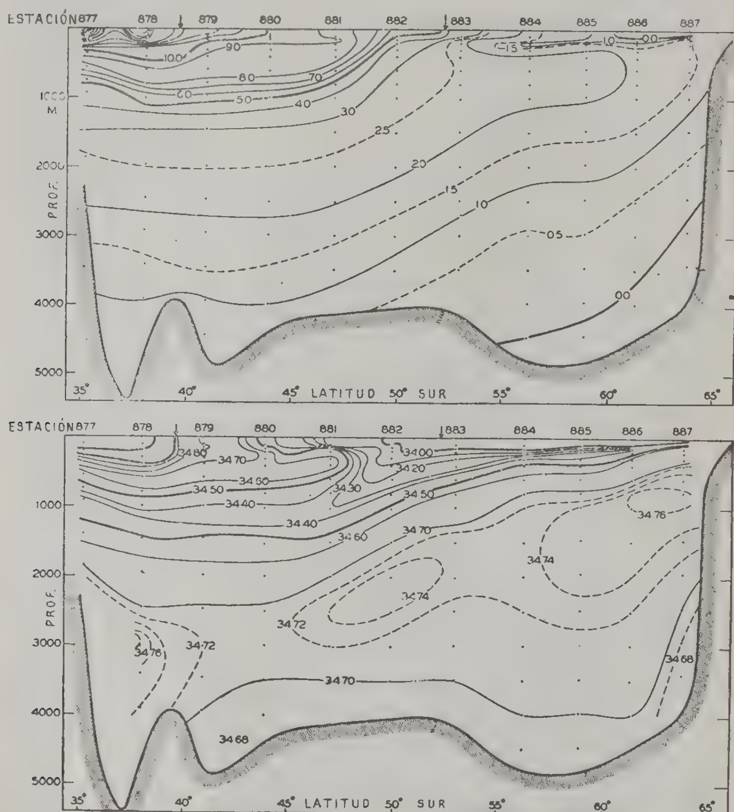


Fig. 3. — Distribución de la temperatura y salinidad en una sección vertical que se extiende desde Cabo Leeuwin, (Australia) hasta el Continente Antártico (Deacon). La sección corresponde a la indicada por la línea *A* en la figura 1.

agua profunda de la región subantártica tiene las mismas características que el Agua Circumpolar Antártica, que se eleva hacia la superficie cerca del Continente Antártico. En las proximidades

del Continente, la temperatura del agua más profunda es menor de 0° y su salinidad menor de 34.70 ‰. Esta agua fría representa el Agua de Fondo Antártica.

Retornando nuevamente al agua de superficie, que es la que por estar en contacto directo con la atmósfera acusa las variaciones climáticas que se producen en la zona, se observa que las distintas fuentes que le dan origen, así como los factores que afectan sus variables temperatura-salinidad, son:

1) Provisión de agua dulce por deshielo y fundimiento de la nieve.

2) Agua templada de alta salinidad que asciende desde la capa templada profunda.

3) Provisión de agua dulce proveniente del exceso de precipitación sobre la evaporación.

4) Deposición de sal cuando se forma hielo marino.

5) Absorción de calor por conducción y radiación en verano y pérdida de calor en invierno.

6) Intensa mezcla vertical debida a la turbulencia producida por los intensos vientos reinantes.

Por lo tanto, es dable esperar en esta capa, las mayores variaciones estacionales en los valores medios que la caracterizan.

Recordando lo dicho anteriormente, se tiene a corta distancia debajo del agua superficial el Agua Circumpolar Antártica, caracterizada por una temperatura mayor de 05°C y una salinidad superior a 34.70 ‰. La gran uniformidad de esta agua que mantiene alrededor de toda la Antártida casi la misma temperatura y salinidad, aparece ilustrada en la figura 4 que muestra una sección vertical alrededor de toda la Antártida.

El agua que penetra en el Pasaje Drake desde el oeste, entre 1000 y 4000 metros tiene una salinidad un poco superior a 34.70 ‰ y su temperatura oscila entre 2°C y algo menos de 0,5°C. En ambas secciones es posible notar al este del Arco de las Antillas del Sur la fría Agua de Fondo del Weddell con salinidad del orden de 34.66 ‰. Como se verá al tratar la circulación de las masas de agua el agua Circumpolar Antártica está formada por el Agua Templada Profunda de la región subantártica que asciende a la superficie en la Región Antártica.

Queda finalmente por analizar el Agua de Fondo. El tipo más extremo de esta agua se encuentra en el Mar de Weddell, donde debajo de la profundidad de 4000 metros la temperatura es de 0,4°C y la salinidad de 34,66 ‰. La formación de esta agua obedece probablemente a procesos de mezcla de partes iguales de agua que desciende a lo largo de la plataforma continental y del Agua Circumpolar Antártica. El proceso fundamental es debido a que el aumento de salinidad del agua de la plataforma continental

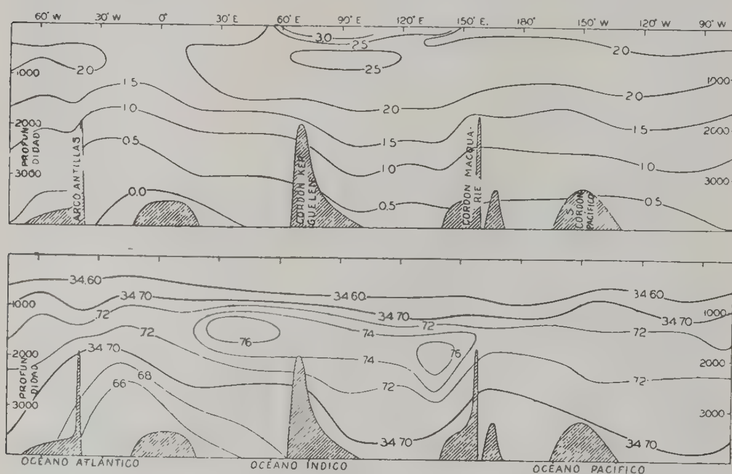


FIG. 4. — Distribución de la temperatura y salinidad en una sección vertical alrededor del Continente Antártico. La ubicación de la sección está indicada por la línea δ en la figura 1.

producida por formación de hielo, hace que la densidad de esta agua sea máxima y se hunda a lo largo del talud continental, mezclándose en su trayectoria con el agua más templada y salina que constituye el Agua Circumpolar Antártica. Esta agua de fondo tiene un significado importante en la circulación profunda de los diferentes océanos. En el Atlántico, por ejemplo, estas aguas de fondo se dirigen hacia el norte, deslizándose sobre el fondo del océano; a medida que avanzan modifican por procesos de mezcla sus características iniciales. Así es que la temperatura asciende

de −0,31°C en el Weddell a 0°C en la latitud de 50°S y a +1°C en el Occidente de la región ecuatorial. Este avance se produce con notable lentitud; según cálculos hechos por Mosby, el traslado del Weddell al Ecuador insume alrededor de 20 años.

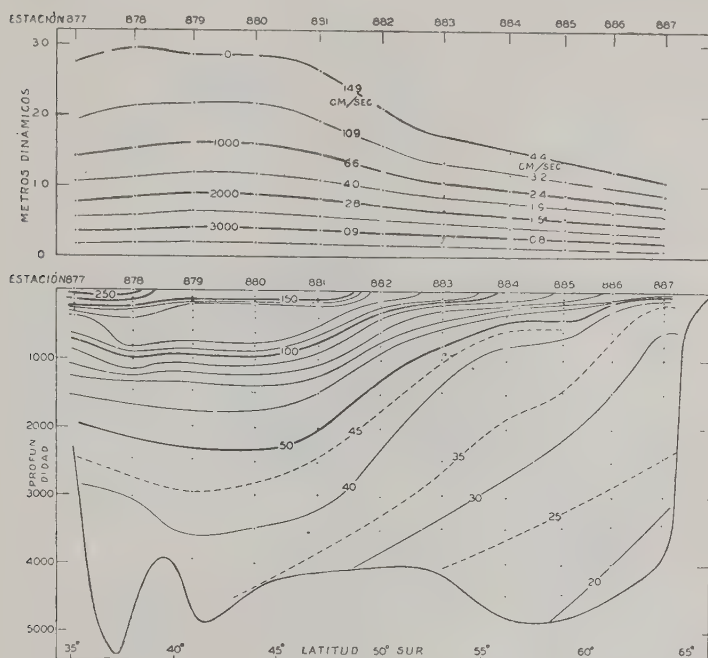


FIG. 5. — *Abajo*: Distribución de la anomalía del volumen específico $10^5 \delta$, en la sección correspondiente a la figura 3. *Arriba*: Perfiles de las superficies isobáricas relativas a la superficie de 4000 decibares.

LAS CORRIENTES EN EL OCEANO ANTARTICO

Las corrientes más o menos permanentes del Océano Antártico están constituídas principalmente por dos tipos distintos: las corrientes relativas, asociadas a la distribución de la densidad, y las producidas por el viento en las capas superficiales.

El carácter de las corrientes producidas por la variación en densidad se puede deducir de la figura 5, que muestra la distri-

bución de las anomalías del volumen específico en la misma sección indicada en figura 3 y la pendiente de las superficies isobáricas con respecto a la de 4000 decibares, que es considerada horizontal. En cualquier nivel, el agua de menor volumen específico, es decir, de máxima densidad, se encuentra cerca del Continente Antártico y en general las líneas de igual anomalía descienden de sud a norte; por consiguiente, las superficies isobáricas se elevan hacia el norte, si se considera horizontal la superficie de 4000 decibares. Aplicando en la figura 5 la regla clásica para determinar la corriente asociada a esa distribución de masa, se tiene que la misma se aleja del observador, es decir, que su dirección es de oeste a este, ya que en el Hemisferio Sur el agua más densa se encuentra a la derecha de un observador que mire en la dirección de la corriente. Las velocidades correspondientes son más bien pequeñas, como se puede apreciar en la figura 5, donde las velocidades horizontales se indican en cm/s, dando por supuesto que la superficie isobárica de 4000 decibares se encuentra en reposo. Al norte de la Convergencia Antártica los valores en superficie son de 15 cm/s, pero dentro de la Región Antártica la velocidad en superficie es solamente de 4,4 cm/s. En la Convergencia Antártica las superficies isobáricas cambian su pendiente en forma brusca, detalle que se ha hecho resaltar en la figura para mostrar la existencia de la cuña de agua liviana sobre una masa de agua de mayor densidad.

En general, la corriente corre de oeste a este alrededor del Continente Antártico, siendo localmente deflexionada en parte por la distribución de las tierras y las aguas, y en parte por la topografía submarina. El efecto de la topografía submarina es evidente en la figura 6, que se ha obtenido de los trabajos de Deacon y en la cual se muestran las líneas del volumen total de agua transportado, tomando como referencia la superficie isobárica de 3000 decibares. Siguiendo la corriente alrededor del Continente Antártico, y en especial en el Sector Argentino, se puede apreciar que luego de cruzar el Drake y aproximarse al Arco de las Antillas del Sud, la corriente se desvía hacia el norte para hacerlo luego hacia el sud después de haberlo cruzado. Por otro lado, e independientemente de la acción del relieve submarino, la distribución de tierra y agua modifica la circulación general. La

ubicación del Pasaje Drake presiona a la corriente obligándola a desplazarse más hacia el sud que en cualquier otra región; pero en el costado oriental de Sud América un brazo de la corriente, la corriente de Malvinas, corre hacia el norte.

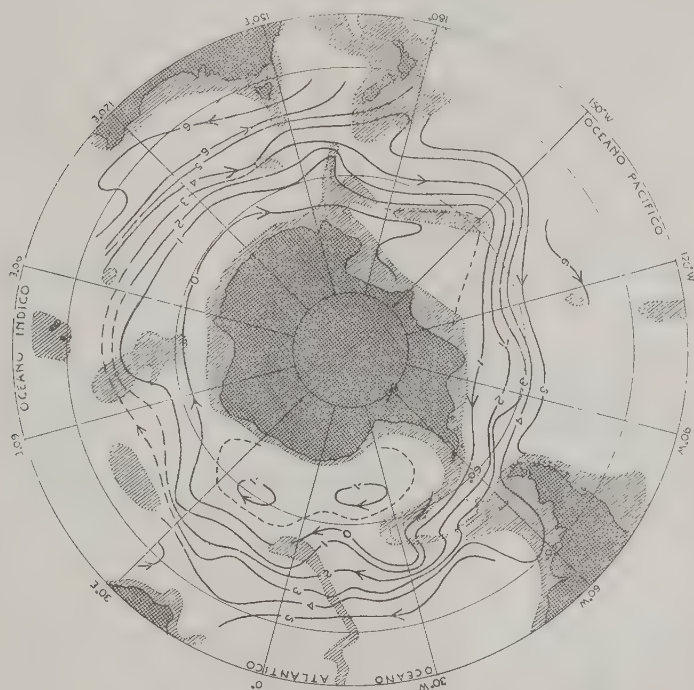


FIG. 6. — Líneas de transporte alrededor del Continente Antártico. Entre dos líneas el transporte relativo a la superficie de 3000 decibares es de alrededor de 20 millones de metros cúbicos por segundo.

En el mar de Weddell existe la evidencia de una circulación hacia el oeste, ya que se produce un extenso movimiento ciclónico al sur de la Corriente Circumpolar. Las masas de agua que intervienen en esta circulación ciclónica son pequeñas en comparación con las que transporta la Corriente Circumpolar Antártica.

La discusión de la Corriente Circumpolar está basada totalmente en la distribución de la densidad, deducida de observaciones oceanográficas profundas. Las corrientes de superficies han sido determinadas en base a observaciones de buques, las cuales muestran que la circulación del agua de superficie es afectada en parte por la distribución de la densidad, y en parte por la acción de los vientos predominantes. En las proximidades del Continente Antártico los vientos del este y sudeste se alejan de las masas continentales, pero entre los 60° y40°S predominan intensos vientos del oeste. Como se puede apreciar en la figura 7, corrientes hacia el oeste predominan cerca del borde del Continente Antártico, y corrientes hacia el este prevalecen a cierta distancia de la

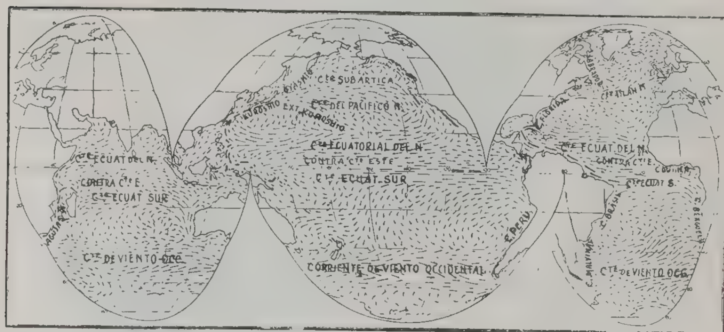


FIG. 7. — Distribución de las corrientes de superficie.

costa. En el Hemisferio Sur la corriente de viento se desvía hacia la izquierda de la dirección del viento, y por lo tanto la corriente hacia el este muestra una componente hacia el norte. En los límites de la corriente oriental y occidental surge sin duda una divergencia, que trae como resultado la subida de aguas profundas hacia la superficie. Las secciones en la figura 3 ubican esta divergencia en las cercanías del Continente y se la identifica por la alta temperatura y salinidad a los 100 metros.

En la región Subantártica, es decir entre la Convergencia Antártica y la Subtropical, la corriente superficial se dirige hacia el este, con excepción de la zona norte de la Convergencia, donde existe una componente hacia el sur. Esta última se halla vincu-

lada al desarrollo de la Convergencia Antártica, que no ha sido aún satisfactoriamente explicada.

No se pueden comentar aspectos oceanográficos de la Zona Antártica sin detenerse a analizar con cierto detalle el fenómeno de la Convergencia Antártica.

Para un buque que navega en la superficie del mar este fenómeno se manifiesta como una variación brusca de la temperatura del agua en corta distancia. La variación es del orden de los 2°C en algunos meridianos, y de apenas 1° en otras. Por lo general, es mayor a fines del verano.

Esta Convergencia constituye un verdadero frente polar, a similitud del frente meteorológico, es decir, un área de separación entre dos masas de agua de distintas características. Si bien esa Convergencia se manifiesta en la superficie como una abrupta variación de temperatura, el proceso tridimensional es bastante más interesante. En efecto, en la zona de la Convergencia, agua de relativa baja salinidad y baja temperatura se sumerge o hunde. Una pequeña parte de ella parece retornar al sur a la profundidad de unos cientos de metros, pero la mayor parte continúa hacia el norte, formando las inmensas lenguas del Agua Intermedia Antártica, que en todos los océanos puede ser detectada hasta grandes distancias de la región antártica. Es probable que esta agua se mezcle gradualmente con el agua profunda que se desplaza hacia el sud y retorne a la Antártica con ella.

De lo expuesto más arriba cabe inferir que si se efectúa un corte vertical en la región Subantártica, se encontrará —sin considerar al agua de superficie— una circulación hacia el norte del Agua Intermedia Subantártica que se sumergió en la Convergencia Antártica y debajo de esa capa, una circulación hacia el sur de agua más salina y más templada que asciende al sur de la Convergencia Antártico. Esta es el Agua Profunda originada en la región subártica. Por debajo de esta capa se encuentra el Agua de Fondo, que se dirige hacia el norte y cuya temperatura y salinidad son inferiores a las del Agua Profunda; esta Agua de Fondo procede casi en su totalidad del Mar de Weddell.

Volviendo nuevamente a la Convergencia Antártica, dos investigadores han emitido su opinión sobre el origen de dicho fenómeno. Deacon atribuye la Convergencia Antártica al carácter de

la circulación de agua profunda. Hace notar que la convergencia se encuentra donde la relativamente salina y templada agua profunda asciende a la superficie; de ahí deduce como consecuencia que dentro de la región antártica la capa de agua superior, que es más densa que el agua templada ubicada más al norte, se hundiría si no fuera prevenida por el agua profunda más salina. Sin embargo, tan pronto como la corriente dirigida hacia el norte atraviesa el punto donde el agua profunda asciende, ya no encuentra

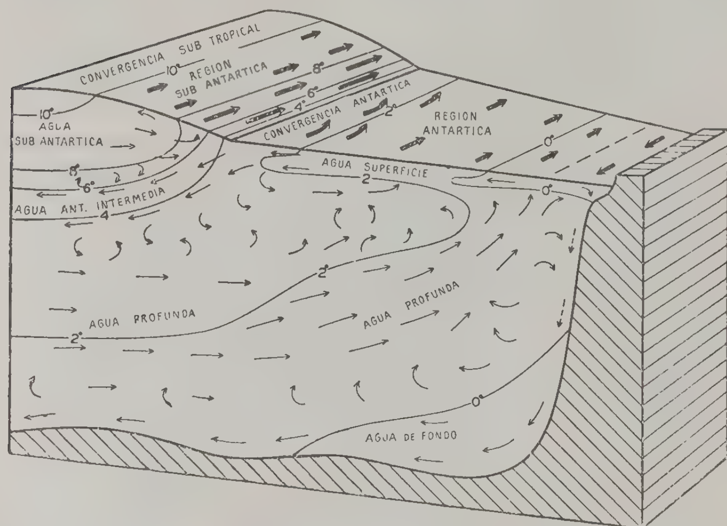


FIG. 8. — Representación esquemática de las corrientes y masas de agua de las Regiones Antárticas y de su distribución de temperatura.

obstáculo que se oponga a su descenso y las secciones sugieren que el agua antártica se derrama sobre la pendiente inclinada del agua templada profunda que asciende.

Sverdrup, por su parte, atribuye la convergencia a otras causas. Afirma que en la región subantártica predomina una circulación termosalina que lleva las aguas superficiales livianas hacia el sur, mientras que en la región antártica predomina la circulación debida al viento y el agua superficial es transportada hacia el norte; en la zona de encuentro, esta última desciende. Aun en la actua-

lidad no se ha establecido cuál de estas explicaciones es la correcta o si debe buscarse algún nuevo punto de vista más aceptable.

La convergencia no es estacionaria en cuanto a su posición, sino que sufre desplazamientos en el sentido norte-sud, de hasta 100 millas. Estos desplazamientos deben ser investigados, pues siendo la convergencia un frente polar, las variaciones de su posición pueden ser explotadas para probables previsiones a largo plazo del clima continental y de las masas de agua que bañarán el Mar Argentino.

En la figura 8 se ha representado esquemáticamente todo lo expresado hasta aquí en materia de masas de agua y circulación.

HIELOS EN LA ANTARTIDA

Dos formas de hielo se encuentran en el Océano Antártico: « hielo marino », formado por congelamiento del agua de mar, y « témpanos », que representan desprendimientos de los glaciares. El aspecto de ambos tipos de hielo varía considerablemente. Se han propuesto muchas clasificaciones y numerosos códigos para determinar tipo de hielos, pero sólo el de Maustadt ha sido adoptado por la Organización Meteorológica Internacional.

La gran masa de hielo marino que rodea al Continente Antártico suele ser descripta en general, en forma amplia, como « campos de hielo », expresión que se interpreta como grandes extensiones de hielo compacto a la deriva, constituídos por bandejones de hielo más o menos planos y cuyos bordes están rotos y amonticulados.

El efecto del viento es conspicuo cuando se efectúan observaciones desde un buque a la deriva por el hielo, debido a que cada cambio en la dirección y velocidad del viento trae aparejado un correspondiente cambio en la deriva del hielo. Observaciones prolijas sobre la deriva del hielo realizadas por Brennecke (1921) durante la deriva del « Deutschland » en el Mar de Weddell en 1911-1912, han mostrado que el hielo deriva en promedio a 34° a la izquierda de la dirección del viento y no a 45°, como se deducía de la teoría de Ekman para las corrientes producidas por el viento. Esta discrepancia fué explicada por Rossby y Montgomery como causada por la acción de una capa friccional en el agua ubicada directamente debajo del hielo, pero puede respon-

der en parte a la resistencia ofrecida por el hielo, ya que al no soplar el viento uniformemente sobre extensas áreas, el hielo se amontona en ciertas áreas y su resistencia aumenta, mientras que en otras se disgrega, contando con mayor libertad de movimiento. La resistencia en la Antártida parece ser muy pequeña en comparación con la del Artico, dado que en la Antártida la deriva del hielo no se ve impedida por barreras terrestres.

Los grandes témpanos que se hallan en el Océano Antártico provienen principalmente del « hielo de plataforma », que representa la continuación directa del casquete de hielo en las aguas poco profundas que rodean al continente.

El hielo de plataforma flota parcialmente, y cuando es empujado muy hacia afuera se quiebra en enormes bloques que pueden alcanzar varias decenas de kilómetros de ancho y hasta 100 kilómetros de largo, con una altura de hasta 90 metros sobre el agua. Estos enormes témpanos que ocasionalmente han sido confundidos con islas, derivan a través de los campos de hielo y a menudo se mueven en direcciones opuestas ya que son afectados casi exclusivamente por las corrientes. El derretimiento de estos témpanos lleva largo tiempo en las aguas frías, razón por la cual derivan hasta grandes distancias del continente, fenómeno que no puede ocurrir con los campos de hielo.

En el Mar Argentino se producen invasiones ocasionales de témpanos, que llegan hasta la latitud del Río de la Plata. El presente año es uno de ellos, ya que se han avistado gran cantidad de témpanos en la zona fueguina y aun en el Estrecho de Le Maire. Se está estudiando su trayectoria, pues estos elementos son los más adecuados para conocer las corrientes predominantes.

Uno de los aspectos más interesantes de la Antártida es el de su fertilidad potencial en la cual está basada la caza de ballenas. El estudio de este aspecto ha sido enfocado con varios criterios; uno de ellos parte de la idea que algunas sales minerales, esenciales para el fitoplancton — como son los fosfatos y nitratos — pueden servir como indicadoras de la fertilidad potencial; otro criterio, reciente, en cambio, utiliza el C_{14} para establecer la eficiencia directa de la fotosíntesis y llegar a conocer la fertilidad potencial. En su última campaña, el Rompehielos utilizó ambos métodos.

Sin entrar en los detalles de los mismos, quiero sólo exponer los conocimientos que se poseen ya sobre los fosfatos y nitratos en las aguas antárticas.

FOSFATO Y NITRATO CONTENIDOS EN EL AGUA DE SUPERFICIE ANTARTICA

La cantidad de fosfato en el agua superficial Antártica es siempre mayor en comparación con la que contiene la superficie de mares más templados. En invierno se ha constatado un valor promedio en el estrato de 100 metros, obtenido de 21 estaciones en las cercanías de Georgias del Sur de 138 mg de P_2O_5/m^3. En el pasado mes de enero, al obtenerse grandes concentraciones de diatomeas, el contenido de fosfato fué de 110 P_2O_5/m^3.

El valor mínimo en la concentración del fosfato registrado en el océano ha sido de 70 mg P_2O_5/m^3, valor que se puede asegurar como correcto debido a las numerosas observaciones realizadas. Por lo tanto se puede casi afirmar que la concentración del fosfato en el agua superficial Antártica nunca es inferior a ese valor.

En cuanto al nitrato, las concentraciones registradas en las aguas de superficie Antárticas son considerables; el mínimo valor encontrado fué de 290 mg de nitrato + nitrito N/m^3 en verano, y el máximo alrededor de 550 mg en Octubre-Noviembre.

La abundancia de fosfato en las capas superficiales se mantiene debido a afloramientos de la capa templada profunda. Esta capa en la Zona Antártica contiene como mínimo 140 mg P_2O_5/m^3. En cuanto al alto valor del nitrato, se lo atribuye también (aunque no se puede afirmarlo) a las mismas causas que en el caso del fosfato.

Durante la última campaña antártica realizada por nuestro país se efectuaron numerosas determinaciones de fosfato, la mayor parte de ellas en el Mar de Weddell. Hasta el momento no se dispone de los datos calculados, pero se estima que esto permitirá a corto plazo ampliar el panorama de que se dispone hasta el presente en lo que se refiere a la concentración de sales nutritivas en esa fértil región.

El estudio de los aspectos oceanográficos de la Región Antártica requiere un esfuerzo continuo para solucionar los problemas que surgen en un mundo en que los fenómenos cambian de una estación a otra.

Los resultados de este esfuerzo tendrán aplicación también en la investigación del Mar Epicontinental Argentino, cuya fertilidad y régimen de corrientes de superficie y profundidad dependen en alto grado de los fenómenos antárticos.

La gran oportunidad para la Oceanografía Argentina la brinda el Año Geofísico Internacional 1957/58, el cual constituirá una « prueba de fuego » para nuestros buques oceanográficos y hombres de ciencia, llamados a estudiar e interpretar las observaciones que se harán en la región antártica, el Mar Argentino y las extensiones oceánicas del Atlántico Central.

Tengo fe en que su contribución científica aclarará más de un aspecto de la Oceanografía Antártica y Subantártica, para llegar, al final, a la situación de pronosticar los principales fenómenos oceánicos, vinculados en alguna forma con nuestros intereses en el mar.

De esta manera, la Oceanografía se perfila desde ya como una de las ciencias llamadas a solucionar problemas vitales de la Argentina y a contribuir a la fortuna y gloria de la Nación.

Bibliografía

Boy-Ed. 1928. — « Ungewöhnlich viel Treibeis im Süden vom Lap der Guten Hoffnung ». *Ann. d. Hydrohr. u. marit. Meteor.*, Hamburg, 56 (12): 401.

Brennecke, W. 1921. — « Die ozeanographischen Arbeiten der deutdschen Antarktischen Expedition 1911-12 ("Deutschland") ». *Aus dem Archiv. d. Deutschen Seewarte.* Hamburg, 39 (1).

Capurro, L. R. A. 1955. — « Expedición argentina al mar de Weddell (diciembre de 1954 a enero de 1955) ». Minist. Marina, Dir. Gen. Naveg. a Hidrogr. Buenos Aires.

Deacon, G. E. R. 1933. — « A general account of the hydrology of the South Atlantic Ocean ». *Discovery Rep.*, Cambridge, 7: 171-238.

Deacon, G. E. R. 1937. — « The hydrology of the Southern Ocean ». *Discovery Rep.* 15: 1-124.

Drygalski, E. von. 1928. — « The oceanographical problems of the Antarctic. Amer Geogr. Soc. Spécial ». Publ. N° 7, Nueva York.

Ekman, S. 1953. — « Zoogeography of the Sea ». Londres.

Hentschel, E. 1936. — « Allgemeine Biologie des Südatlantischen Ozeans. Wiss. Ergbn. d. deutschen Atl. Exp. auf d. Forschungs-u ». Vermessungsschiff « Meteor » 1925-1927.

Herdman, H. F. P. 1948. — « The antarctic pack-ice ». *J. of Glaciology*, 1 (4): 156-66.

Herdman, H. F. P. 1952. — « The voyage of Discovery II », 1950-51. *Geogr. J.*, 118 (4).

HERDMAN, H. F. P. 1953. — « The antarctic pack-ice in winter ». *J. of Glaciology*, 2 (13): 184-91.

HIDAKA, K., y TSUCHIYA, M. 1950. — « On the antarctic circumpolar current ». *J. Mar. Res.*, New Haven, 12 (2): 214-22.

MACKINTOSH, N. A. 1940. — « Distribution of pack-ice in the Southern Ocean ». *Discovery Rep.*, 19: 285-96.

MANN, G. 1949. — « Biología de la « Antártida ».

SVERDRUP, H. U. 1928. — Die Eistrift im Weddelmeer ». *Ann. d. Hydrogr. u. marit. Meteor*, 54 (9).

WORDIE, J. M. 1921. — « Shackleton Antarctic Expedition 1914, 1917. The natural history of pack-ice as observed in the Weddell-Sea ». *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, 52, P. IV (N° 31).

ANTARTIDA
CARACTERISTICAS METEOROLOGICAS

POR EL CAPITAN DE FRAGATA

LUIS M. IRIART

Summary. — The work given here aims at dwelling upon the meteorological characteristics of the Antarctic continent, and to attain this end the Antartic continent has been broken up into two parts, specifically as follows:

1) the coastal area and the oceans lying round about it.
2) the continent itself.

With regard to the first part, it sets forth the cyclonic systems and points out the actual being of four orders of cyclones, each of which sways a 90° sector. Right after this the article outlines the climatic conditions prevailing in the Argentine Antarctic sector.

As to the second part, the work takes it for granted that an anticyclone on the surface and an overhead cyclone stand out in the Antarctic continent, and affords the reasons upholding the scope of this theory.

The article is wound up by listing the sundry establishments bound to undertake and spread the gathering and compilation of the information and technical work to be set out to take their share in the oncoming International Geophysical Year 1957-58.

INTRODUCCION

El estudio de los fenómenos del tiempo exige una apreciable densidad de estaciones de observación meteorológica, que cubran la mayor extensión territorial posible. El hemisferio Sur no ofrece la posibilidad de disponer de una bien distribuída red de estaciones de observación, toda vez que en la extensión comprendida entre el paralelo 35°S y el correspondiente al borde del continente antártico, sólo se encuentran, como pequeñas incrustaciones de tierra perdidas en la inmensidad de los océanos que circundan el globo en esas regiones, el extremo Sur de Sudamérica, una reducida parte de Australia, Nueva Zelandia y una que otra islilla, diminutas presencias que apenas alcanzan a dibujar puntos sobre la vasta superficie de las aguas (fig. 1).

Añádase a esto que el continente antártico hasta hace pocos años no contaba con estaciones meteorológicas permanentes; así la mayor parte de los conocimientos que se poseen en la actualidad sobre el clima de esas tierras débese al aporte discontinuo de ob-

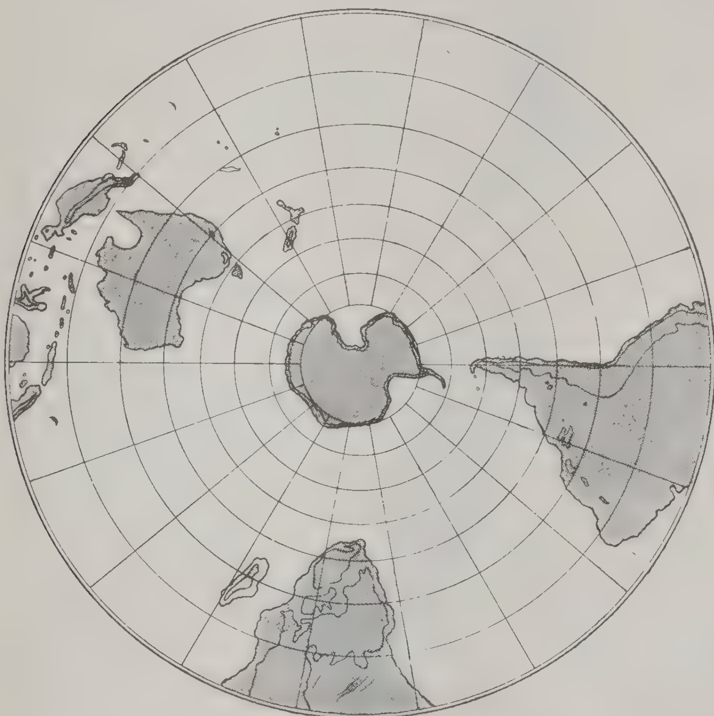


Fig. 1. — Mapa hemisferio Sur. Proyección polar esterográfica.

servaciones realizadas por las expediciones que se vienen sucediendo desde el siglo pasado.

El registro más antiguo y más austral de observaciones continuas con que se cuenta, es el del Observatorio argentino de las islas Orcadas, establecido el 14 de febrero de 1904. El resto de las existentes en la actualidad pertenecen a registros que alcanzan sólo a los últimos diez años. Además, como queda dicho,

dadas las limitaciones que imponen las características del medio, no se cuenta con una red de estaciones orgánicamente distribuídas, pues todas se asientan principalmente en la parte Norte de la tierra de San Martín, exceptuadas las Orcadas, la base San

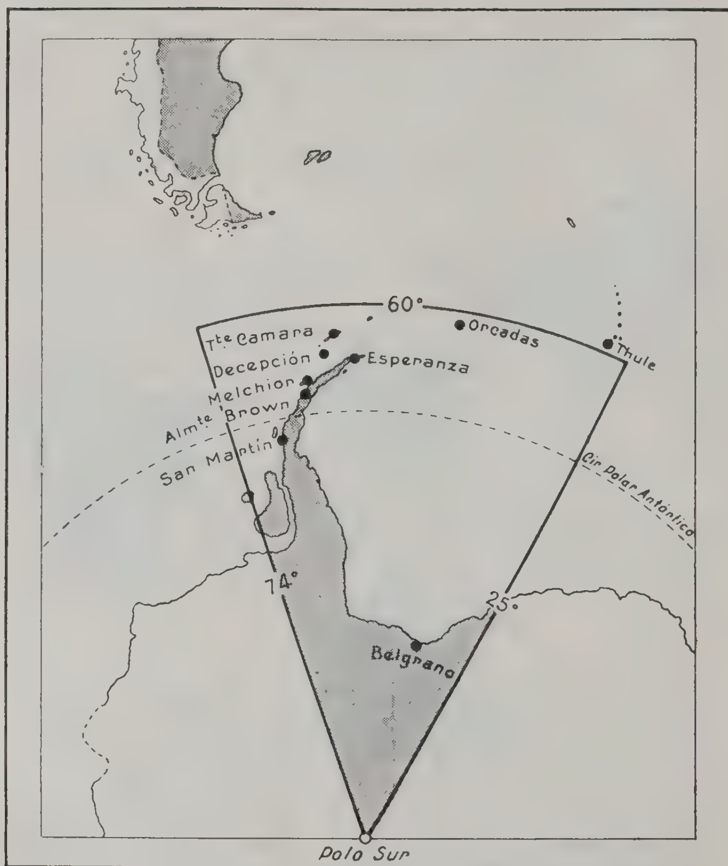


Fig. 2. — Sector Antartico Argentino. Destacamento y bases.

Martín de Bahía Margarita, y la base General Belgrano, instalada hace apenas año y medio al S del Mar de Weddell (fig. 2).

Desde este sector debemos saltar a la zona del Mar de Ross, donde sucesivas expediciones norteamericanas han establecido esta-

blecido estaciones, por períodos de uno a dos años, cuyas observaciones, unidas a los resultados obtenidos por numerosas expediciones efectuadas en lo que va del siglo, en el borde del continente, han permitido alcanzar conclusiones generales acerca de las condiciones peculiares de la Antártida, salvo en lo referente a la meteorología de su interior, que sólo fué objeto de registros esporádicos por parte de pocas expediciones.

Por lo tanto, en lo que respecta a este continente, y sólo en cuanto a los registros relativos a su periferia, se han enunciado diversas teorías, en su mayoría poco satisfactorias, pues las conclusiones logradas no concuerdan con las características del medio.

CARACTERISTICAS EXTRACONTINENTALES

Veamos que sucede en la periferia de la Antártida, hasta el paralelo 55°S.

Constituye un cinturón de baja presión, a lo largo del cual se suceden depresiones de gran intensidad llamadas ciclones. Al N, latitud 30° aproximadamente, se encuentran sobre los océanos centros de alta presión o anticiclones estacionarios.

Observemos un mapa (fig. 3) donde se muestra la distribución de estos centros.

Los anticiclones de las zonas templadas se mantienen estacionarios, y sólo en la parte S son afectados por las depresiones que se desplazan de W a E rotando de izquierda a derecha.

Tales depresiones son consecuencia de la interacción del aire frío del continente antártico y el cálido del N; estas dos masas, de diferente densidad y gradiente energético apreciable, al encontrarse, tienden a mezclarse formando torbellinos.

Como acabo de decir, media un gradiente energético y una notable diferencia térmica entre una y otra zona. Esta desigualdad, llamada frente, trae consigo una diferencia fundamental en las condiciones meteorológicas: el sector NE de la depresión se singulariza por vientos del N al NE, visibilidad media, nubosidad variable y elevada temperatura. En la zona frontal el viento aumenta con ráfagas, precipitaciones, y salta al SW; luego despeja paulatinamente, con los clásicos cúmulos de buen tiempo. Este bien conocido cuadro es característico de los lugares donde a un

período caluroso suceden precipitaciones y luego el cambio del viento al SW.

Consideremos ahora el sector S. Aquí la evolución es diferente y presenta las características de las denominadas sudestadas, que periódicamente se observan en la zona del Río de la Plata. La



FIG. 3. — Distribución esquemática de depresiones.

temperatura es relativamente baja, el cielo cubierto y hay mala visibilidad y precipitaciones continuas, con una lenta rotación al S y después al SW (ver fig. 4).

La causa de estas precipitaciones continuas reside en que la masa de aire caliente que avanza del sector NE, por ser menos densa asciende sobre la fría que encuentra en su camino, y al con-

densar su vapor de agua produce las precipitaciones. Este punto de transición es el denominado frente caliente.

Observemos cómo se presentan las depresiones de que venimos

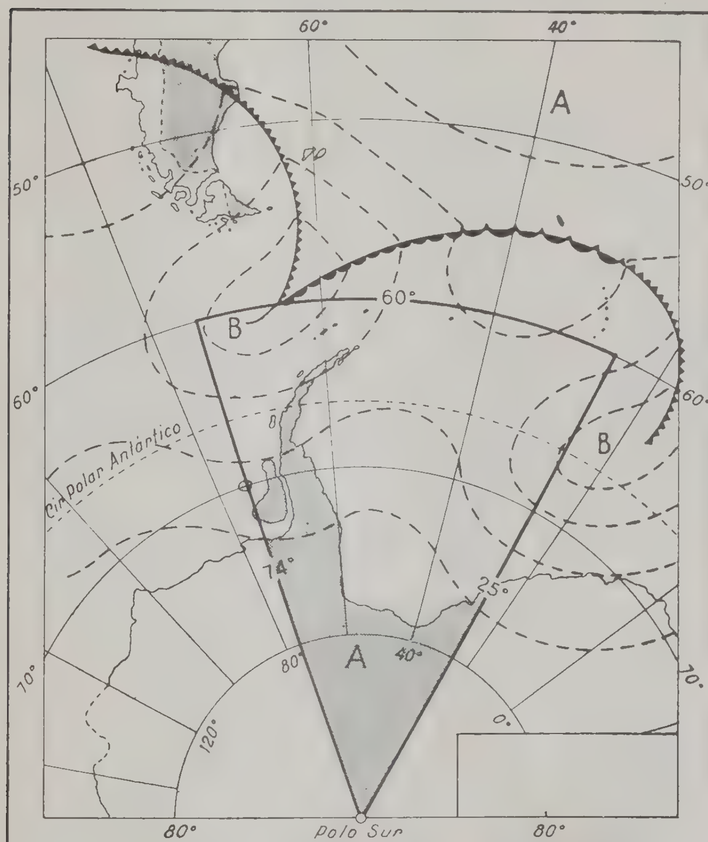


Fig. 4. — Depresión típica en el pasaje Drake.

hablando: el eje de su trayectoria coincide en gran parte con el centro del pasaje Drake.

Pasemos a examinar cómo afecta esta depresión a diversas zonas:

1) Islas Shetlands del Sur y extremo norte de la Tierra de San Martín.

La aproximación de la depresión se reconoce por descenso de la columna barométrica, lento aumento de la velocidad del viento del sector ENE al E, cielo cubierto, visibilidad disminuída por niebla para culminar con una nevada continua y cada vez más intensa.

Este fenómeno dura de 36 a 48 horas, y según la intensidad de la depresión, el viento puede alcanzar valores de 90 a 100 km/h, y se han registrado, aunque raramente, ráfagas de hasta 140 km/h.

El final de este período se manifiesta por la rotación del viento al SE en disminución, despejando paulatinamente y finalmente viento suave del S. La temperatura durante el fenómeno oscila, en los meses de verano, entre 0° y 3° y 4° bajo cero; en invierno, desciende hasta 30° bajo cero.

2) Parte Sur de la Tierra de San Martín. El sistema no afecta mayormente, pues se interpone con las altas presiones del N, dando una zona de bajo gradiente de presión; las condiciones del tiempo son excelentes, con vientos débiles y nubosidad reducida.

Hemos visto el pasaje de un ciclón observado desde la Tierra de San Martín; pero nos preguntamos: ¿de dónde vienen y adónde van esos ciclones?

Estas depresiones, que pasan con intervalos de 3 a 4 días, son producto de una constante formación y disolución de torbellinos que circulan alrededor del continente antártico. Tienen una etapa de formación, su desarrollo, alcanzan su mayor intensidad, para luego decaer y morir. Las que vemos pasar por el Drake son, en general, el resultado de ondas que se forman a lo largo de frentes fríos que han avanzado en el Océano Pacífico hasta latitudes próximas a los 30°S, ondas que en su avance hacia el SE toman, al cobrar intensidad, la forma de un ciclón, llegan a las costas chilenas y resbalando, por así decirlo, hacia el S, corren por el pasaje Drake con dirección E y después ESE, hasta sobrepasar las islas Sandwich del Sur.

Estos sistemas que pasan en la plenitud de su desarrollo tienen su origen, como queda expresado, en el Océano Pacífico, en las latitudes 30° a 35° y meridiano 120°.

En cada caso se presentan importantes variantes, pues aun cuando su desarrollo es típico y se puede conjeturar que su futura evolución consistirá en una disminución de intensidad, el encuentro

en su avance con masas de aire caliente del N frías del S se traduce, por el contrario, en un aumento de intensidad, con lo que su vida se prolonga.

Este desplazamiento de las depresiones hacia el E está vinculado al hecho de que en la faja de los 35°S a los 60° (igual cosa

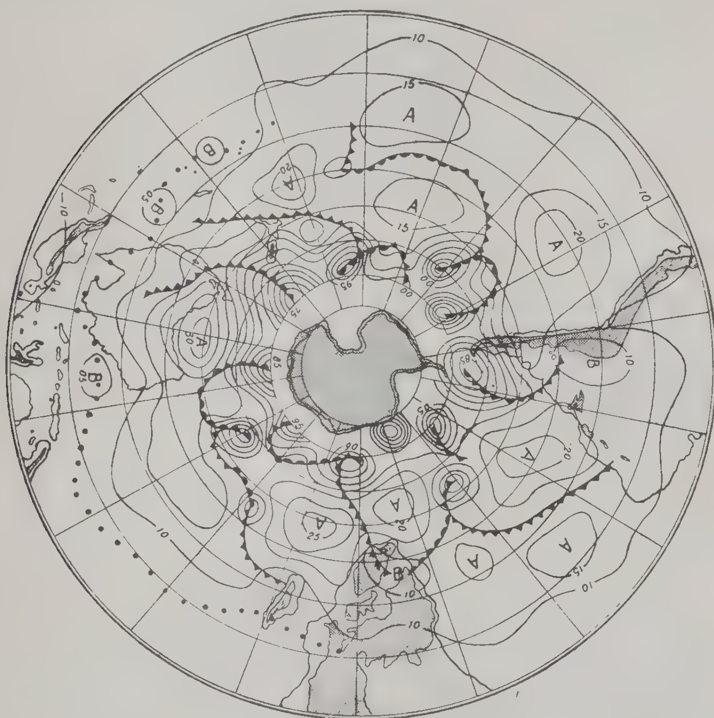


Fig. 5. — **Situación sinóptica modelo.**

ocurre en el hemisferio Norte), la circulación general de la atmósfera tiene dirección W a E.

Esta circulación general de W a E es muy notable en la altura a partir de los 1000 metros por encima de todo obstáculo; es decir, que en el mar, a una altitud superior a los 1000 metros, el movimiento no es perturbado; pero en tierra hay que elevarse más, según sea la altura de las montañas.

Observando la posición del pasaje Drake, que se halla flanqueado por dos cadenas montañosas, el único camino que tiene la atmósfera para desplazarse hacia el E sin dificultades es ese, precisamente: en el Drake es donde los ciclones adquieren mayor intensidad, tal como no la tienen antes de llegar a él ni después de pasarlo; ésta es una región de temporales tan fuertes como en pocas partes del mundo se registran.

Este sistema de depresiones es, pues, el que con mayor intensidad azota el sector antártico argentino.

Más al S, en las latitudes 66° a 67°, periódicamente se producen ciclones que afectan a la zona de Bahía Margarita, cuyo origen no es ya el que acabamos de examinar, sino que pertenecen a otra familia.

Observando las depresiones registradas en la fig. 5, se advierte que en general la trayectoria media que sigue cada una desde su nacimiento hasta su extinción, lleva dirección SE, y que hay cuatro zonas en el hemisferio, puntos extremos septentrionales que se reconocen como iniciadores de trenes de ciclones o familias de ciclones:

1) La ya mencionada en latitudes 30° a 35° y meridianos 120° a 140°;

2) Costa oriental de América del Sur y paralelo 30°, aproximadamente coincidente con zona próxima de Entre Ríos, Santa Fe, R. O. del Uruguay;

3) Costa sudoriental de Africa y Madagascar;

4) Costa oriental de Australia y Nueva Zelandia.

Dibujando la trayectoria de cada una de estas familias de ciclones, tenemos el gráfico (ver fig. 6), de donde la primera familia, una vez pasado el Drake, continúa hasta llegar a la costa Princesa Marta, en el continente, al E del Mar de Weddell, en el meridiano Greenwich, donde permanece estacionaria y llenándose.

Este estacionamiento y pérdida de intensidad no significan que al llegar a esta zona los ciclones se debiliten y reine tiempo relativamente bueno; por el contrario, son fuerte depresiones, pero en proceso de destrucción, pues la actividad frontal ha desaparecido; pero el torbellino en su totalidad es una masa relativamente homogénea y mantiene su movimiento rotatorio, por efecto de inercia.

La segunda familia pasa por el S de Africa y termina en la Bahía Pride, meridiano 80° E.

La tercera navega sobre el Océano Indico y concluye en la costa Jorge V, meridiano 150° E, al S de Australia, y es probable que alcance en muchos casos el Mar de Ross.

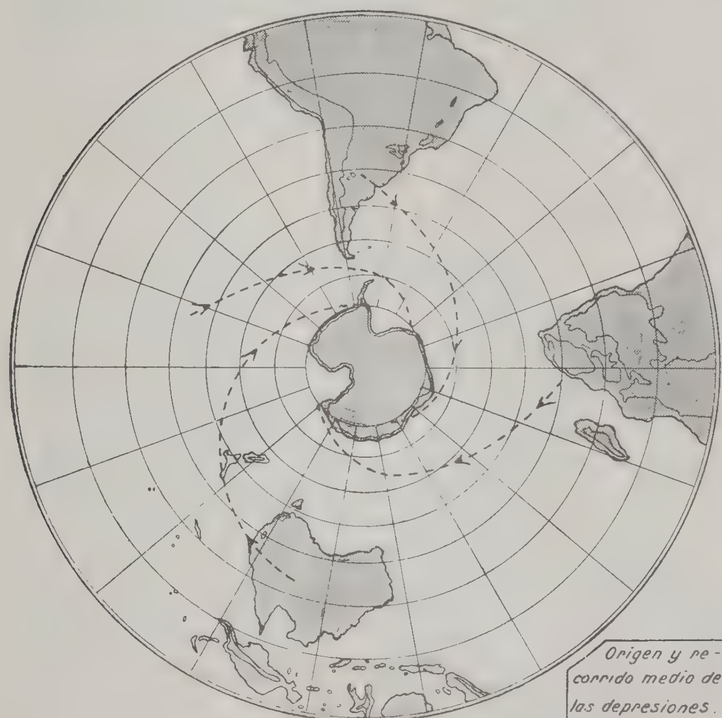


FIG. 6. — Origen y recorrido medio de las depresiones.

La cuarta familia concluye su trayectoria en el Mar de Bellingshausen, al W de la Tierra de San Martín, llegando hasta la costa occidental de esta Tierra, pero muy débil y sin actividad frontal.

Tales son las condiciones generales del desplazamiento de las depresiones, presentándose situaciones particulares toda vez que se forman depresiones a la altura del Golfo San Jorge; pero su tra-

yectoria no se desvía mucho de la correspondiente familia; es decir, seguirán su desplazamiento al E del Mar de Weddell, tal vez un poco más allá, pero dentro de la zona señalada.

Estas familias de depresiones se desvían periódicamente de su recorrido medio hacia el N o el S, en una amplitud total de 600 millas como máximo, dando lugar a variaciones de las condiciones climáticas de la región y que afectan más, fundamentalmente, al N.

Este pasaje de las depresiones es el regulador de las condiciones del tiempo en la zona de acceso al continente.

CLIMA

Temperatura. — Analicemos ahora las características climáticas.

Nuestro sector antártico posee en la Tierra de San Martín la estribación más septentrional del continente, pues su extremo N llega a la latitud 63°; siempre hacia el N, se prolonga por el archipiélago de las Shetlands del Sur, latitud 62°. Estas, junto con el archipiélago de las Orcadas del Sur y las Sandwich del Sur, son ya subantárticas por su posición; las primeras, no obstante ser las más meridionales, no registran temperaturas más bajas.

La razón se halla en que la Tierra de San Martín sirve de muro de contención a los vientos del W, porque su profunda penetración en el mar atempera las irrupciones de aire extremadamente frío del continente. Al E de la citada Tierra se extiende el Mar de Weddell, que permanece helado todo el año; en el verano el borde del hielo retrocede hasta latitudes próximas al extremo más septentrional de la Tierra de San Martín. Este mar, por estar helado, como queda dicho, provoca el desplazamiento de las isotermas hacia el N (ver fig. 7).

En este mapa observamos que la isoterma de cero grado, que al W de la Tierra de San Martín pasa cerca de la Tierra de Alejandro I, en latitud 69° cruza bruscamente hacia el N para atravesar el Mar de la Flota y después orientarse hacia el E, pasando al S de las Orcadas y luego al SE, al rebasar el Mar de Weddell.

Iguales características ofrece la temperatura media anual (ver fig. 8). Como puede advertirse, aun en los meses más benignos, enero y febrero, los valores térmicos superan el 0°C, salvo en las islas y archipiélagos subantárticos, que se hallan por debajo de

los dos centigrados. Esto nos explica una característica fundamental de la flora antártica: se limita únicamente a formas primitivas del tipo musgo y liquenes.

Por otra parte, siendo las temperaturas medias muy próximas

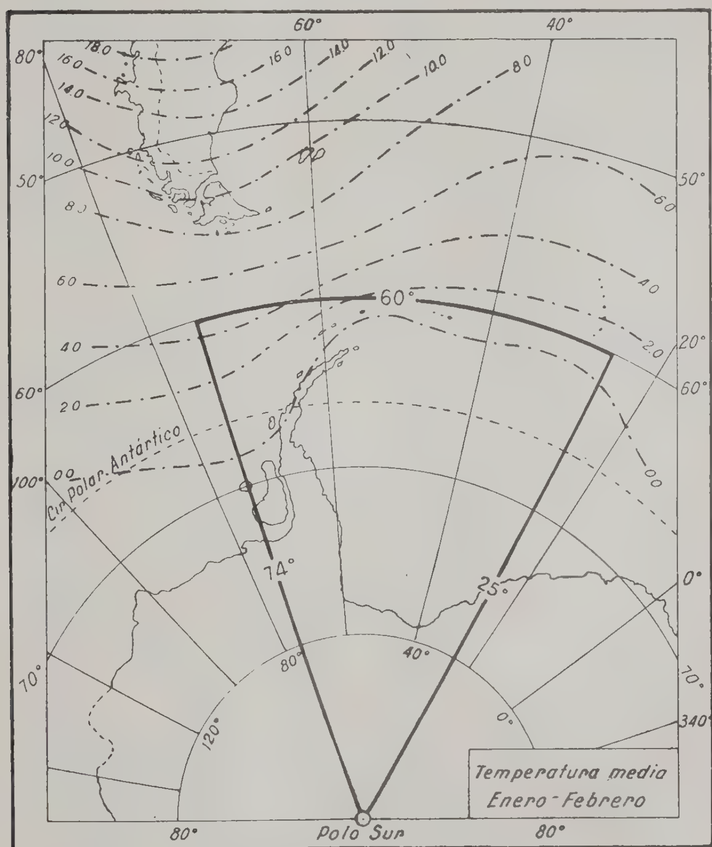


FIG. 7. — Temperatura media enero-febrero.

al 0°C, el descongelamiento sólo se manifiesta al nivel del mar, de tal manera que en verano son pocas las superficies libres de hielo, y entre éstas se cuentan en especial las que por su pronunciada pendiente no permiten la acumulación de nieve.

Una excepción en todo este panorama helado la constituye la isla Decepción, situada en el Mar de la Flota, en el extremo SW de las islas Shetland, en las cuales, gracias a la actividad volcá-

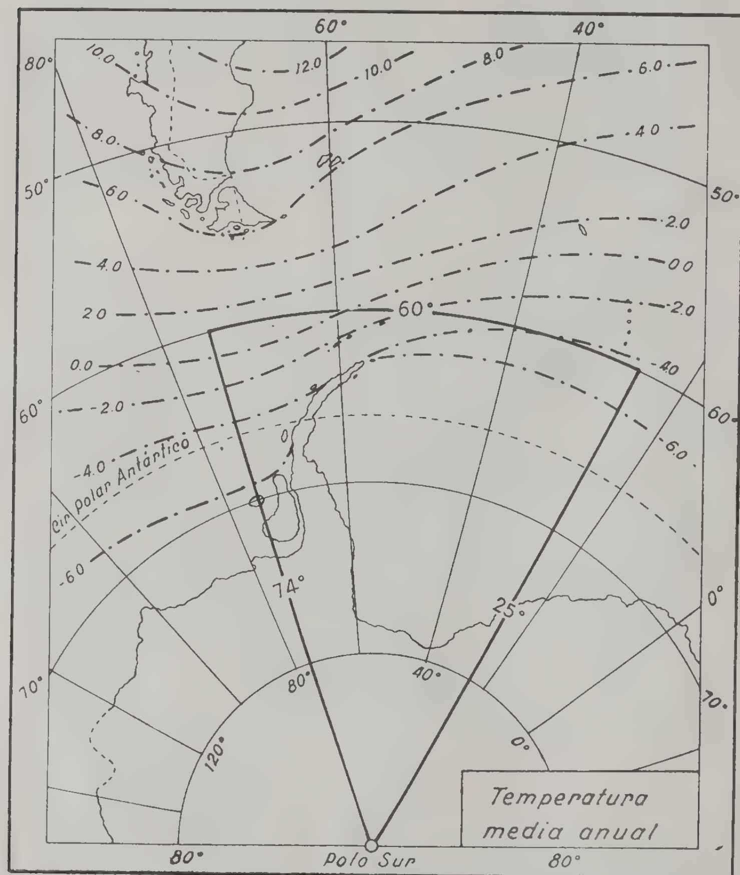


Fig. 8. — Temperatura media anual.

nica el suelo es relativamente caliente y presenta durante los meses de verano gran parte de su superficie libre de hielo y nieve.

Más al S de la Tierra de San Martín sólo algunas playas y laderas de montañas cortadas a pico se ven despejadas de hielo.

La Tierra de San Martín, por su ubicación, brinda facilidades para establecerse; sobre la piedra o tierra libre pueden construirse casas habitación, principalmente en el N y el W hasta Bahía Margarita, pues en el E las condiciones climáticas son mucho más rigurosas.

Pasemos a considerar lo que ocurre en el Mar de Weddell. En el extremo S, cerca de Ensenada Piedrabuena, se encuentra la base General Belgrano, instalada en el mes de enero de 1955, y aunque sólo se han obtenido registros completos de un corto período, ya se tiene una idea de los valores térmicos que se pueden esperar. En un mes de verano la media máxima es de — 8,8°C y en el invierno de — 35°C, habiéndose registrado el 21 de setiembre de 1955 una marca de — 55,9°C y el 4 de febrero una máxima de — 1,2°.

CUADRO DE TEMPERATURAS

Estación	Latitud	Máx. med.	Mín. med.	Máx. abs.	Mín. abs.
Orcadas	60-44	1,9	— 15,7	11,1	— 40,0
Decepción	63-00	1,4	— 12,8	5,8	— 28,0
Cerro Nevado	64-22	1,1	— 25,6	9,5	— 41,7
Melchior	64-27	3,2	— 12,6	9,2	— 28,8
San Martín	68-10	3,4	— 20,7	9,5	— 38,4
Belgrano (1)	78-10	— 8,8	— 35,0	— 1,2	— 55,9
Little America	78-34	2,1	— 45,4	3,3	— 57,2
Bolling Advance (2)	80-20	— 25,0	— 41,5	— 7,2	— 61,0

(1) Febrero 1955 a diciembre del mismo año.
(2) Abril a setiembre de 1934.

Registros efectuados en el Mar de Ross no difieren fundamentalmente con relación a los de la base General Belgrano.

Como ya queda dicho, éstos son valores térmicos registrados al borde del continente y en especial en nuestros destacamentos, muy influenciados por el mar y su posición geográfica, que les imprimen condiciones más benignas que las registradas en el continente.

Así es como el acceso por mar durante los meses de estío es fácil hasta el límite coincidente con la isoterma de 0°; el mar queda libre de hielo y permite la navegación de cualquier tipo de buque.

Consideremos ahora las variaciones anuales medias del límite N del mar helado (ver fig. 9).

En verano, el límite del mar helado se encuentra al W de Tierra de San Martín, en las latitudes 68° a 69°, y termina en la misma Tierra en la latitud 68°, de tal manera que al N toda la costa es normalmente accesible. Como me refiero al mar abierto, es dable observar que algunas bahías o canales no llegan a descongelarse en toda su extensión, especialmente al S del paralelo 66°.

Sigamos costeando y llegaremos a la Península de Trinidad, cuyo extremo E forma, con las islas Dundee, Joinville y Durville, el estrecho Antarctic. Este, por hallarse directamente comunicado con el Mar de Weddell, sufre continuas irrupciones de hielo que hacen muy variables sus condiciones de navegabilidad.

Hacia el E el mar helado se prolonga, oscilando en el paralelo 64° hasta el meridiano 35°, desde donde se orienta hacia el SE, acercándose a la costa en el meridiano 15°, aproximadamente.

Como puede apreciarse en el mapa (fig. 9), en verano la costa W de la Tierra de San Martín es accesible en casi toda su extensión; pero permanece helada la parte S y E de Bahía Margarita. En la costa oriental se requieren buques especiales, pues el mar libre de hielo no es observable sino a varios centenares de millas de la costa.

En invierno el borde del mar helado avanza hacia el N y tiene su máximo desarrollo en los meses de agosto y setiembre, cuando en toda la Tierra de San Martín e incluso las islas Shetland quedan dentro del campo de hielo.

Según observaciones efectuadas por buques en diversos años, el borde de hielo ha llegado hasta el N de las islas Shetland y las Orcadas del Sur.

Las condiciones meteorológicas no son las mismas todos los años; por lo tanto el borde del hielo es sumamente variable, como veremos examinado el período estival de varios años:

Año 1950-51: Al promediar la temporada favorable, el límite del hielo dejó libre Bahía Margarita, quedando así aguas libres en toda la parte Oeste desde la Tierra Alejandro I al N.

En los veranos siguientes, en Bahía Margarita y aún más al N, en toda la costa hasta el Estrecho de Bismarck (lat. 65°), el

hielo se mantuvo más o menos consolidado. En la temporada última volvieron a presentarse las condiciones del verano 1950-51, en que el borde del hielo se encontró en latitud 69°, siendo nave-

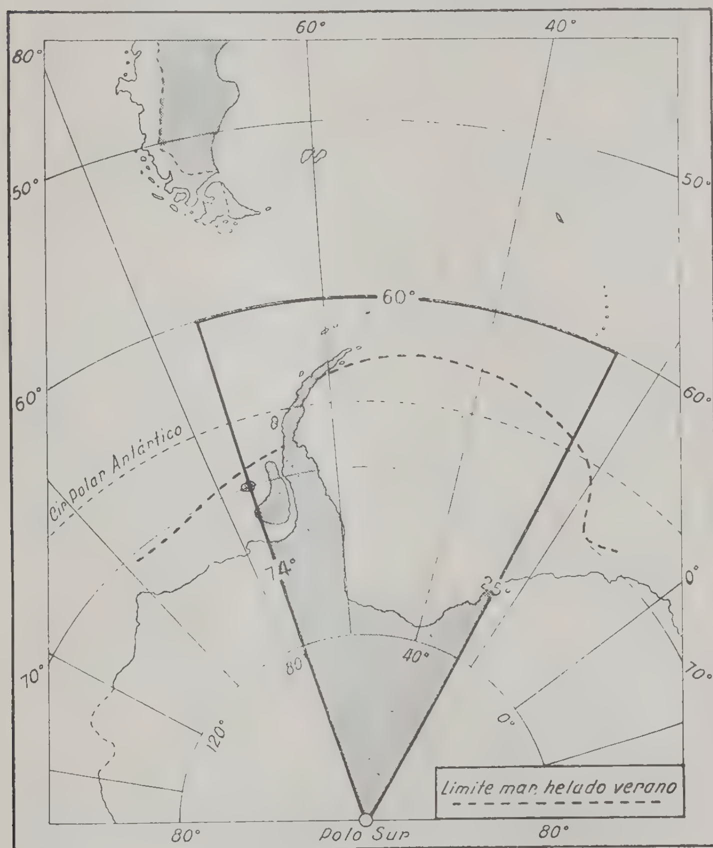


Fig. 9. — Límite del mar helado en verano.

gable toda la Bahía Margarita y hasta pocas millas al N de la Isla Charcot.

Frente a situaciones tan netamente favorables como las de este verano, consideremos la información del verano 1902-03, en que

el Mar de la Flota prácticamente no se abrió. No hay antecedentes de que esta situación se haya repetido.

Las condiciones que se observaron el invierno pasado fueron muy benignas, por cuanto en el Mar de la Flota y aun en el interior de la isla Decepción sólo durante 15 días hubo formación muy débil de hielo, e igual cosa ocurrió en las Orcadas del Sur. Las condiciones del invierno actual son, hasta la fecha, igualmente benignas.

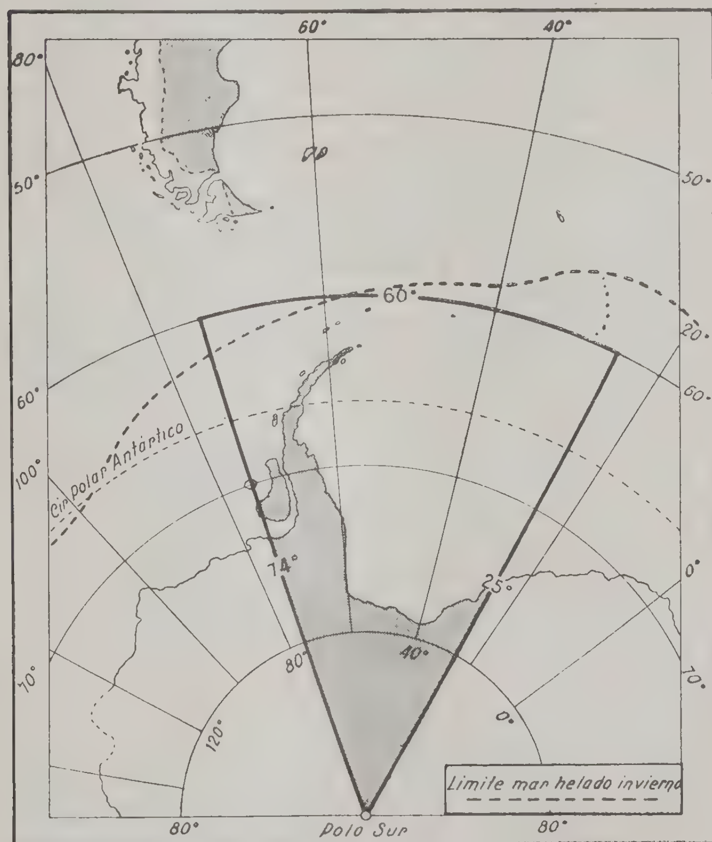
Estas variaciones del avance y retroceso del borde del hielo dependen fundamentalmente de la circulación de la atmósfera; y reuniendo los elementos de juicio de los destacamentos y bases, se puede determinar su periodicidad, así como pronosticar dentro de un lapso prudencial las condiciones del hielo.

VIENTO. — La parte N hasta el paralelo 60° es característica y en toda la parte oriental desde la Tierra Alejandro I hasta sin mayores variaciones; los vientos soplan del NW al SW, dando así una media del sector W preponderante. A medida que se avanza hacia el S comienzan a manifestarse los vientos del E, y así en las cercanías de Bahía Margarita prácticamente ya no sopla viento del W, y sí en cambio del E hacia el S. El paso de los ciclones, por su dirección y velocidad, es el factor que imprime sus características a esta zona, una de las más ventosas del mundo y donde los temporales se desatan con extrema violencia.

En otoño e invierno es cuando los vientos son más intensos y el número de temporales mayor; los meses de noviembre, diciembre y parte de enero son los menos ventosos. Pese a ello se suceden los días apacibles, particularmente frecuentes en la parte occidental de la Tierra de San Martín; por ejemplo, en el sector donde están instalados los destacamentos navales Melchior y Almirante Brown es elevado el número de vientos de escasa intensidad. No así en Bahía Esperanza, zona donde el viento del SW adquiere valores elevados y se singulariza por su persistencia. En esta región, como en la base General San Martín, entran en juego valores locales en los lugares donde descienden glaciares.

El hielo y la nieve, por su propiedad de ser muy reflectores de la radiación solar, debido a su color blanco, son causa de que el aire que rodea y cubre los glaciares o campos de hielo se enfríen

más intensamente. La capa de aire así enfriado aumenta su densidad, y arrastrada por los vientos predominantes desciende —en condiciones favorables— por los glaciares, adquiriendo las carac-



F.G. 10. — Límite del mar helado en invierno.

terísticas de un alud cuando descarga hacia el mar. Estos vientos, llamados catabáticos, son observables en las proximidades de los glaciares y cuando el viento general sopla en esa dirección. Constituyen entonces los temporales llamados *blizzards*, que tie-

nen una zona de influencia muy local y pueden ocasionar variaciones térmicas de varios grados en muy breve tiempo.

VISIBILIDAD. — En la Antártida la visibilidad no reconoce términos medios: es extraordinariamente nítida o prácticamente anulada por la niebla. En el primer caso, ello se debe a la diafanidad del aire, exento de corpúsculos en suspensión, y de muy baja humedad absoluta. Así se explica que las limitaciones a la observación las imponga la curvatura de la Tierra. En estas condiciones se avistan montañas a distancias superiores a las 200 millas (360 km) y son frecuentes los alcances de 100 millas. Contribuye a esto un factor muy importante: la inversión de la temperatura en las capas bajas de la atmósfera, es decir, la presencia de capas frías debajo de capas de aire más calientes, produce un notable espejismo superior, que permite ver objetos situados mucho más allá del horizonte. A quienes no están familiarizados con este fenómeno, los induce en error cuando intentan estimar la distancia a que se encuentra un objeto.

Los obstáculos más comunes de la visibilidad son la niebla y las precipitaciones; pero en tierra lo es con más frecuencia la nieve arrastrada por el viento. Cuando acaba de caer nieve seca y se desencadena un temporal que la arrastra y la alza por el aire, la visibilidad se reduce a escasos metros, circunstancia muy peligrosa para las patrullas, porque se pierde completamente la orientación, dándose el caso de quienes al pretender seguir la marcha y creyendo mantener el rumbo, no hacen más que dar vueltas en el mismo lugar.

NIEBLAS. — Son más comunes en el mar y en las zonas próximas a éste; prodúcense por advección, es decir, por el avance de aire caliente procedente del N, que al entrar en contacto con aire más frío, condensa su vapor de agua, fenómeno que ocurre cuando se aproxima un centro de baja o ciclón y el viento rota al NE.

Más al S, así como en la costa oriental de Tierra de San Martín, se observan nieblas de radiación, producidas en días serenos, de poca insolación; se produce entonces la pérdida de calor por radiación y el vapor de agua se condensa. Este tipo de niebla es común en invierno, en que la insolación se reduce en sumo grado.

NUBOSIDAD. — A consecuencia de la actividad ciclónica, la nubosidad es bastante considerable, al punto que son poco frecuentes, especialmente en verano, los días despejados. El grado de nubosidad aumenta a partir del paralelo 55°; predomina hasta las latitudes 66° a 67° y disminuye luego. El tipo dominante es el de las nubes estratificadas; es característico el *stratus cumulus;* la base de las nubes muy baja, entre los 200 y los 300 m, razón por la cual muchas zonas montañosas sólo en muy contados días son visibles.

En la zona de las islas Shetland, Orcadas del Sur y Sandwich sólo por excepción se registra cielo despejado en el verano. En invierno el grado de nubosidad disminuye y esto, unido a que el mar se hiela, da a esta región características más continentales.

HUMEDAD. — Los registros de la humedad relativa, de los destacamentos y base, dan un índice medio elevado. Se destaca una disminución hacia el S, así como en la costa oriental de Tierra de San Martín:

Decepción	88 %
Orcadas	86 »
Melchior	84 »
Puerto Charcot	86 »
Isla Paterman	85 »
Bahía Margarita	72 »
Cerro Nevado	69 »
Pequeña América	82 »

Cuanto más baja es la temperatura, menor la cantidad de vapor de agua que puede contener el aire para llegar a la saturación, por lo que la humedad absoluta es muy baja, circunstancia que deben tener en cuenta quienes habiten esas regiones, pues la calefacción, al elevar la temperatura del aire (muy escaso en vapor de agua en los interiores, aunque saturado a la temperatura ambiente exterior) aumenta enormemente su capacidad de contener vapor de agua, tornándolo sumamente higroscópico. Quienes no tengan en cuenta este detalle notarán irritada su mucosa nasal, porque se reseca. Para mantener en los interiores un estado higroscópico bajo, es preciso evaporar agua.

Ilustraremos con un ejemplo:

Si la temperatura del aire es de $-18°$ y 100 % de h. r., la saturación de vapor de agua se obtiene con 0,8 g de vapor de agua por kg de aire seco. Ahora bien, ese aire, si se eleva, al entrar en un ambiente con calefacción, a 12°C, decuplica su capacidad de saturación higrométrica, pasando a 8 g/kg de aire seco, o sea que la h. r. será de 10 %, valor sumamente perjudicial.

PRECIPITACIONES. — Las precipitaciones se producen principalmente en forma de nieve. En verano, cosa inusitada, se observan lluvias en la parte N de la Tierra de San Martín, alcanzando a registrarse en la zona de Bahía Margarita, latitud 68°.

Las nevadas disminuyen hacia el S, lo que coincide con la disminución de la nubosidad y de la humedad absoluta por lo bajas que son las temperaturas medias registradas.

La medición de la cantidad precipitada es muy incierta, debido a que los vientos huracanados arrastran gran cantidad de nieve. Tampoco es índice seguro el espesor de la nieve que cubre las casas habitación, especialmente en invierno, pues precisamente el obstáculo que la edificación opone al viento es lo que provoca la acumulación de la nieve caída en un área muy extensa.

El tamaño de los copos es relativamente grande en la zona N; en el S del Mar de Weddell son pequeños cristales que se asemejan a niebla congelada.

CONTINENTE

La costa continental presenta una aguda saliente, la Tierra de San Martín, y dos amplias entradas casi opuestas una a la otra: el Mar de Weddell y el Mar de Ross.

En el fondo del Mar de Weddell se encuentra la barrera de hielo Lassiter, que desciende lentamente del interior, sigue hacia el E y cubriendo un sector de casi 180°, el hielo desciende en forma abrupta al Océano, con varias zonas montañosas y con pocas manchas libres de hielos sobre ellas. Más de 3 millones de km^2 del interior constituyen territorio desconocido, donde pueden existir desiertos rocosos o cadenas montañosas de alturas superiores aún a las conocidas en el resto del mundo, o planicies cubiertas de nieve situadas a 3.000 m sobre el nivel del mar.

Esta inmensa superficie desconocida termina en la cadena de montañas que bordean el Mar de Ross al W y al S. La parte S de este mar está cubierta por la barrera de hielo del mismo nombre, cuyos bordes se elevan de 30 a 60 m sobre el nivel del mar. Al E se extienden también cadenas montañosas y la costa concluye en numerosas bahías, glaciares y una gran extensión de mar de hielo. El interior es un vasto desierto de unos 300 metros de altura.

Pocas expediciones —cinco hasta la fecha— han invernado en el continente propiamente dicho, y aun éstas sólo a pocas millas de la costa. El conocimiento de las características meteorológicas se basa en extrapolaciones de los datos de la periferia, que han dado lugar a diversas teorías sobre el aspecto meteorológico.

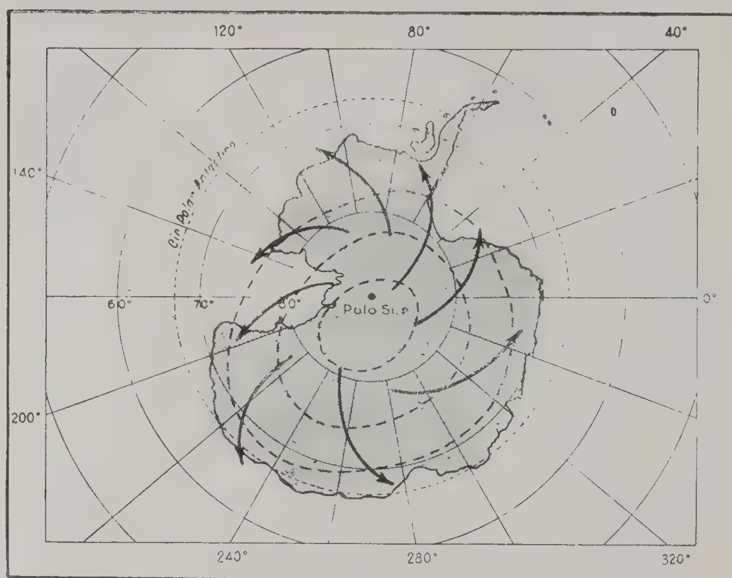
Las últimas expediciones han proporcionado una espléndida información sobre la alta atmósfera; pero no han ampliado las observaciones de superficie.

De toda la información acopiada se desprende que en el continente antártico la circulación atmosférica es anticiclónica en la superficie correspondiente a las zonas de alta presión, donde el aire se desplaza girando de derecha a izquierda alrededor de este centro; por encima de este anticiclón es circulación ciclónica, es decir, inversa a la anterior.

Las observaciones realizadas en distintos puntos establecen que los vientos predominantes en superficies son los SE y E; en altura, las observaciones efectuadas en Pequeña América muestran claramente que los valores medios anuales son los del N y W, los cuales concuerdan cualitativamente con la teoría que supone que el aire frío se desplaza, en las capas inferiores, del Polo hacia la costa, movimiento compensado por la entrada, en las zonas atmosféricas superiores, de aire procedente de latitudes septentrionales. La componente S es manifiestamente mayor en invierno que en verano, hasta una altura de 1.000 m, y más aún durante los períodos más fríos, en que se manifiesta hasta los 2.000 m.

En el invierno, en las capas superiores, los vientos del sector N soplan con mayor intensidad que en el verano en los kilómetros 7 a 8 de altura y en los períodos más fríos en las capas de 5 a 9 kilómetros de altura.

En la superficie cubierta de hielo, sea al nivel del mar, sea en la meseta, la irradiación es tan intensa que el aire se enfría de manera extremada, en especial las capas inmediatas a la superficie helada. Este aire «superenfriado» es más pesado que el que a la misma altura se extiende sobre la zona costera y el mar; por lo tanto la presión aumentará del exterior al interior.



Centro de alta presión en superficie

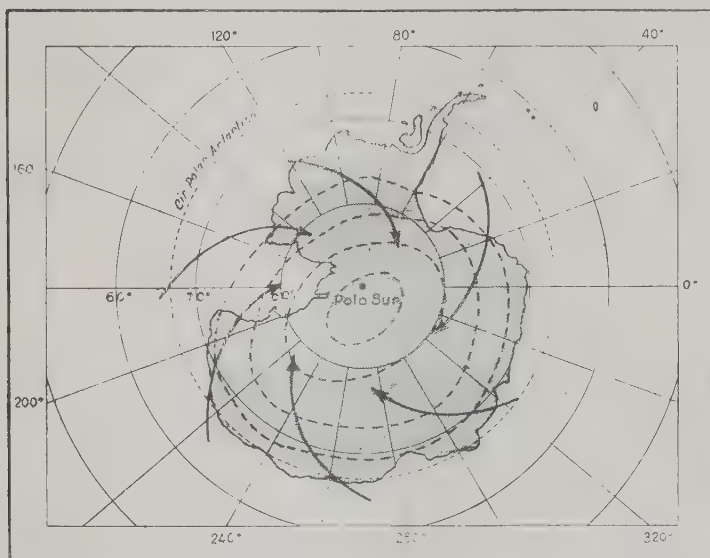
Fig. 11. — Centro de alta presión en superficie.

Dada la elevada densidad del aire frío, con la altura la variación de presión será más rápida al medio que lo rodea. Llega así un punto en que el gradiente de presión se hace cero para cambiar de signo por encima de este punto; se forma entonces sobre el continente una depresión con circulación inversa. Con esta circulación ciclónica en la altura, corre aire del N hacia el Polo, que repone el que se desplaza hacia la costa en la superficie.

En condiciones normales la circulación se produce con lentitud y el aire al descender se calienta dinámicamente (por compresión

del gas); en consecuencia, las nubes se disipan, esto es, disminuye la nubosidad, fenómeno observable al penetrar en el continente.

El cielo descubierto, a lo que se suma la reducida humedad absoluta, facilita la irradiación, al no ofrecer pantalla alguna contra el escape de energía que se produce por irradiación de la superficie helada. Así el aire y la superficie del hielo se «superenfrían», y esto facilita las inversiones de temperatura, particularmente en las capas inferiores.



Centro de baja presión en altura

Fig. 12. — Centro de baja presión en altura.

Precipitaciones. — Los registros de precipitaciones corresponden a observaciones efectuadas al borde del continente, y por lo tanto no se poseen elementos de juicio suficientes para arribar a conclusiones acertadas respecto del interior. Pero de los datos aislados aportados por diversas expediciones se concluye que la cantidad de nieve que cae anualmente es muy reducida, estimando

diversos autores que el promedio equivalente en agua oscila entre 20 y 50 mm.

Conforme a los cálculos de Meinardus, que trabajó en la expedición alemana al Polo Sur a principios de siglo, si se considera que la descarga de hielo de la periferia a los océanos es igual en todas partes, y suponiendo que el avance sea de 150 metros por año con un espesor de 250 metros, y el perímetro del territorio antártico de 17.000 kilómetros, el total del hielo que se descarga en el mar sería de 640 kilómetros cúbicos, equivalentes a 550 kilómetros cúbicos de agua, lo que significa que para mantener el equilibrio se requiere una precipitación anual de 40 milímetros. Valor éste no muy desacertado; pero téngase en cuenta que probablemente el descenso de los hielos al mar dependa fundamentalmente de las precipitaciones que se producen hasta no muy lejos de la costa, con muy reducido aporte del interior.

AÑO GEOFISICO INTERNACIONAL 1957-58

Contribución de los distintos países a su realización. — El interior del continente antártico es, repetimos, poco conocido; pero actualmente se dispone de medios para establecerse, los que serán debidamente aprovechados durante el Año Geofísico Internacional que se llevará a cabo desde julio de 1957 hasta diciembre de 1958.

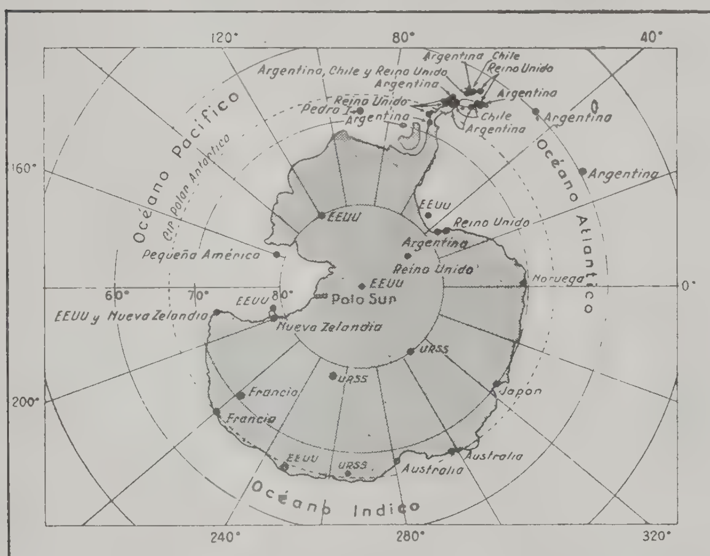
El esfuerzo conjunto de todos los países civilizados se dirigirá a incrementar las observaciones conducentes a un mejor conocimiento de la Tierra, en todas las ramas de la geofísica y en toda la extensión del planeta.

Entre todas las disciplinas científicas, la meteorología ocupa un lugar preponderante, y es en la Antártida donde le han prestado particular atención muchos países por ser el territorio menos conocido y que puede suministrar elementos de juicio importantes para dilucidar muchos puntos no aclarados aún.

Así es como en las últimas temporadas de verano se han incrementado las actividades expedicionarias, a fin de determinar lugares donde establecerse y poder comprometer ante el A. G. I. su participación.

Los países que participarán son: Argentina, Australia, Chile. EE. UU., Francia, Gran Bretaña, Japón, Nueva Zelandia, Noruega, Rusia y Sudáfrica.

El mapa que reproduce la fig. 13, permite apreciar la ubicación de las estaciones de observación proyectadas. Si bien parece haber una gran densidad, considérese la extensión del continente antártico y se verá que quedarán apreciables zonas sin cubrir;



Año Geofísico Internacional
Estaciones de Observación

Fig. 13. — Año Geofísico Internacional. Estaciones de observación en la Antártida.

pero de cada base saldrán expediciones y estaciones móviles, durante breves períodos, que han de acopiar información para contribuir a develar el misterio de esas tieras heladas.

La República Argentina ocupa una posición privilegiada, pues tiene ya todas sus estaciones de observación instaladas desde hace varios años. Lógicamente, el número de observaciones que deben efectuarse diariamente y la incorporación de nuevos instrumentos, en especial para la determinación de valores de la alta

atmósfera, requieren el aumento del personal y su presupuesto para equipar adecuadamente las bases.

Las observaciones meteorológicas de todas las bases antárticas se concentrarán en la Central Meteorológica de Pequeña América, base norteamericana. Además la Antártida ha sido dividida en zonas, con una subcentral o estación madre, colectora de la información meteorológica de las bases subordinadas.

En esta forma podrán concentrarse rápidamente todos los datos de cada turno de observación, y efectuar el análisis de la carta del tiempo de la Antártida de igual manera que la de otros continentes.

El destacamento Decepción será estación madre de los siguientes destacamentos y bases: Almirante Brown, base General Belgrano, Teniente Cámara, Esperanza, Melchior, San Martín, Orcadas, Thule y Pedro I.

Pequeña América, a su vez, será estación madre de: Polo Sur, base de Nueva Zelandia, Estación Intermedia Inglesa, Geology (Francia), base de EE. UU., Tierra de Byrd.

Mawson actuará como estación madre de: Costa Knox (Rusia), Estación Intermedia (Rusia), Vestföld Hills (Australia), estación noruega, Costa Príncipe Harold (Japón).

Puerto Soledad, Malvinas, será estación madre de: Georgia del Sur, Bahía Fox, Islas Argentinas, Isla Decepción, Bahía Esperanza, Bahía Margarita, Isla Signy, Port Lockroy, Grytviken, islas Anners.

La estación chilena Prat, estación madre de: González Videla, Decepción, O'Higgings, Almirantazgo.

Las observaciones de superficie se harán cada tres horas, y las de altura dos veces por día.

Este sistema de comunicaciones permitirá no solamente una rápida concentración de datos en un punto, sino su posterior envío a todos los países interesados, para su difusión.